تاريخ تطور أشكال الحياة على كوكب الأرض

الإصدار الرابع في عام ٢٠٠٥

رِتْشَرْد كَوِنْ، الأستاذ بجامعة كاليفورنيا، ديفِسْ

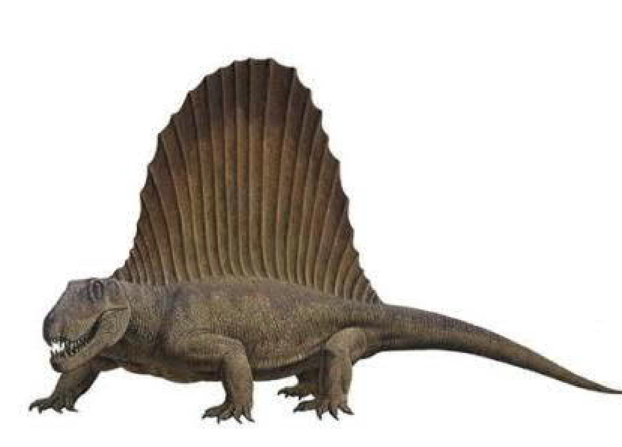
Richard Cowen, University of California, Davis



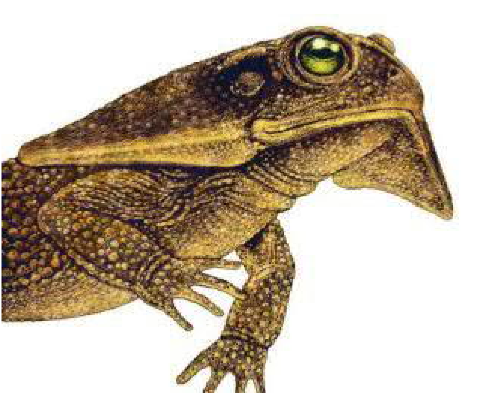




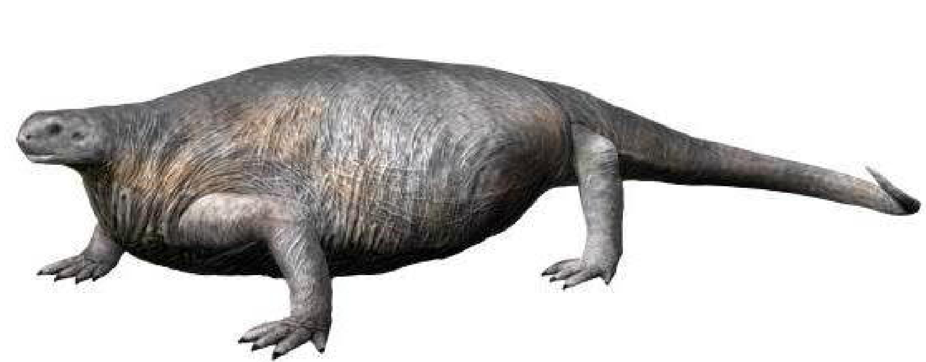












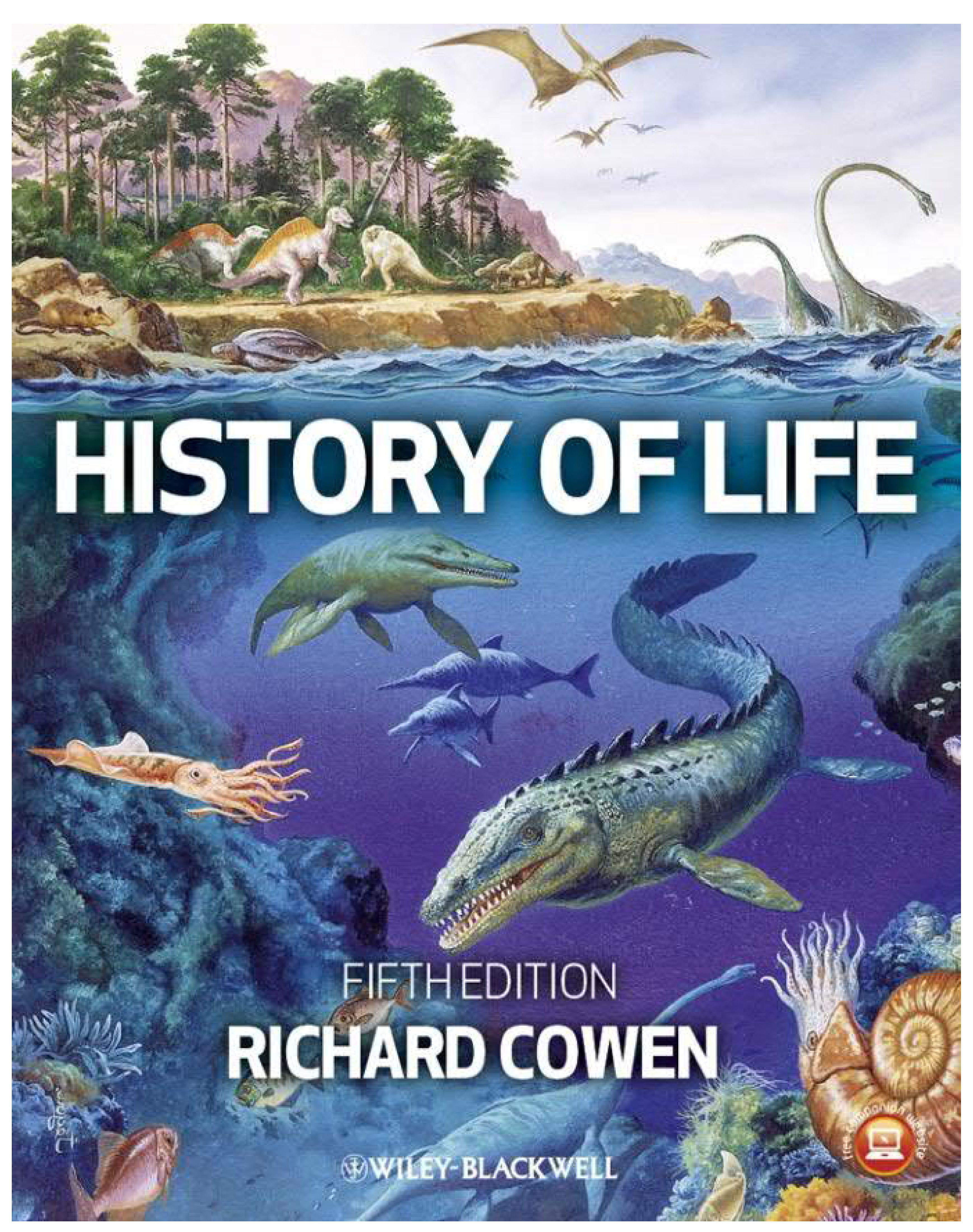
ترجمة لؤي عشري

بيانات الكتاب:

Title: History of Life, 4th edition

Author: Richard Cowen, University of California, Davis

Publisher: Blackwell Publishing



صورة غلاف الطبعة الإنجليزية الخامسة

المحتويات

الفصل الخامس: الانفجار الكامبري

حيوانات العصر الإدياكاري (الڤِنْدياني)
تطور الهياكل العظمية
حيوانات منطقة طَفْلْ [الطين الصفحي لمنطقة] بورجيس
تفسير الانفجار الكامبري الحيوي

الفصل السادس: [أشكال] حياة متغيرة في عالم متغير

أنماط التنوع في السجل الأحفوري
التحرك العالَمي لطبقات القشرة الأرضية والتنوع العالمي
تغير الحيوانات القاطنة للمناطق الأرضية عبر الزمن
الزيادة في التنوع العالمي
الانقراض والانقراضات الجماعية الكبيرة
انقراض العصر البرمي– الترياسي
التشعبات التطورية

الفصل السابع: الفقاريات المبكرة

أصل الفقاريات
نشأة وتطور الفكين
الأسماك العظمية

الفصل الثامن: الخروج من الماء

نشأة النباتات البرية
أشكال البيئات الحيوية النباتية البرية الأبكر
مقارنة بين تطور النباتات والحيوانات
أول الحيوانات البرية
تنفس الهواء
أطراف وأقدام: لماذا التحول إلى رباعي أقدامٍ؟
أوائل رباعيات الأقدام

الفصل التاسع: رباعيات الأقدام والسلويات (الحيوانات التي تُكَوِّنُ السلى: الغشاء الداخلي الذي يحيط بالجنين مباشرةً)

رباعيات الأقدام المبكرة
السلويات والفقاريات السلوية
البيئة الحيوية البرية في العصر الكربوني

الفصل العاشر: السلويات المبكرة وتنظيم الحرارة

انتواع السلويات

زواحف البليكوسورات Pelycosaurs (أبكر الزواحف البدائية ذوات الفتحة الصدغية الواحدة على كل جانب من الجمجمة)

بيولوجية وإيكولُجَّية [طريقة اعتياش] زواحف البليكوسورات

البليكوسورات النباتية

كيف نشأ وتطور التغذي على النباتات في رباعيات الأقدام؟

تنظيم الحرارة في الزواحف الحية المعاصرة

تغيرات العصر البرمي

غزو [أو استعمار] قارة جُنْدْوانا (قارة كبرى قديمة كانت في أواخر الدهر القديم في نصف الكرة الجنوبي وضمت القطب الجنوبي وأفريقيا وأستراليا والهند وأمِرِكا الجنوبية)

تطور الـtherapsids [الزواحف الشبيهة بالثدييات ذوات الفتحة الصدغية الواحدة]

الفصل الحادي عشر: انقلاب العصر الترياسي (أو الثلاثي)

طائفة الزواحف ذوات الثقبين الصدغيين Diapsids (طائفة توجد في منطقتها الصدغية فتحتان على كل جانب كما في التماسيح وبعض متحجرات الزواحف)

هيمنة ذوات الفتحتين الصدغيتين الترياسية: النمط

التنفس والأيض (التمثيل الغذائي) والتحرك

الرِيِنْشُسورات Rhynchosaurs (زواحف بدائية، يعني اسمها حرفيًّا بالجريكية الزواحف ذوات الخطم)

التحرك في الزواحفِ ذوات الصفات الشبيهة بصفات الزواحف الحاكمةِ [المهيمنة] في العصر الترياسي

أسلاف الديناصورات

الفصل الثاني عشر: الديناصورات

الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين Theropods

الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري Ornithischians

الديناصورات النباتية ذوات الورك الشبيه بالخاص بالسحلية Sauropodomorphs

بيولوجية الديناصورات: الحياة عند الكائنات ذوات الحجم الضخم

سلوكيات الديناصورات

بيض وعشش الديناصورات

هل كانت الديناصورات حارة الدماء؟

ديناصورات ذوات ريش

شكوك حول صفة التنظيم الذاتي الداخلي لحرارة الأجساد في الديناصورات؟

الفصل الثالث عشر: تطور الطيران

الطيران في الحشرات

الفقاريات المتزلقة المظلية

الزواحف المجنحة الطويلة الإصبع (الذي دعم تركيبة الجناح الجلدي وانبسط عليه الجناح) Pterosaurs

الطيور

الخفافيش

الفصل الرابع عشر: تجديد أشكال الحياة في البر والبحر

الأنظمة البيئية الإيكولُجيّة للمحيطات في حقبة دهر الحياة الوسطى

تجديد أنواع النباتات البرية

نباتات دهر الحياة الوسطى والتلقيح

نباتات دهر الحياة الوسطى ونثر البذور

وعائيات البذور وعلم البيئة والكائنات (الإحاثة) الخاصة دهر الحياة الوسطى

الفصل الخامس عشر: نشأة الثدييات

السمات الثديية المتطورة

التكاثر الثديي

الثدييات المبكرة

الثدييات التي تحمل إناثها

دونية الثدييات في ذلك العصر

الفصل السادس عشر: نهاية عصر الديناصورات

اصطدام بكويكب أم بنيزك؟

انفجار بركانيٍّ هائل؟

هل سببت كارثةٌ طبيعيةٌ الانقراضاتِ؟

الدليل الأحفوري من طبقة التخم الطباشيري- الثلاثي [الطباشيري- التِرْشِرِي]

الفصل السابع عشر: ثدييات حقبة دهر الحياة الحديثة، النشأة والطوائف الاعتياشية guilds أو طرق الاعتياش والنزعات

تطور ثدييات حقبة دهر الحياة الحديثة

الإحلال البيئي: مفهوم الطائفة

قصة الساڤانا

التطور من خلال التحسن

الفصل الثامن عشر: الجغرافيا والتطور

أستراليا

نيوزيلاند

أمِركا الجنوبية

أفريقيا
الجزر والجغرافيا الحيوية

الفصل التاسع عشر: الرئيسيات

طائفة الرئيسيات البدائية التي لا تزال حية (رئيسيات صغيرة الأدمغة نسبيًّا وتنشط ليلًا)
الرئيسيات الأقدم
نشأة القرود الشبيهة السمات الخاصة بالبشر أو الرئيسيات العليا anthropoids (القرود ذوي الذيل، والقرود العديمي الذيل ومنها العليا كالشيمبانزي والبونوبو والأورانج تان إنسان الغابة والجورِلا)
بزوغ القرود الأشبه بسمات بالبشر hominoids (القرود العديمي الذيل ومنها العليا كالشيمبانزي والبونوبو والأورانج أوتان إنسان الغاب والجورِلا ومعهم البشر، والجِبون الغير علوي)

الفصل العشرون: التطور باتجاه البشر

القرود البشرانية الجنوبية (الأُسترالوبِثِكُسْ) Australopithecines
تمييز ظهور جنس البشريين من عدمه
البشري المنتصب القامة (هومو إرِكْتُسْ) Homo erectus: أهو أول بشري حقيقي؟
نشأة وأصل الإنسان العاقل Homo sapiens
البشريون النِيَنْدَرْتاليون Neanderthals
التطور في البشر في العصر الحالي

الفصل الحادي والعشرون: الحياة في العصر الجليدي

العصور الجليدية والتغير المناخي
العصر الجليدي الحاضر
الحياة والمناخ في العصور الجليدية
التغيرات القارية
الأمِركَتان
أستراليا
الانقراضات في الجُزُر
مجموعات الحياة الحيوانية التي اجتازت الاختبارات [أو المحن]
العالَم في العصر الحالي

المقدمة

لكل أحدٍ

لستة وثلاثين عامًا درَّستُ كورسًا بعنوان "تاريخ الحياة" في جامعة كاليفورنيا، في ديڤِسْ. كان هذا الكتاب _الذي يدخل الآن في طبعته الرابعة_ قد كُتِب للكورس. رغم ذلك، فإنه مُوجَّه ليس للطلبة فحسب، بل ولكل أحدٍ مهتمٍ بتاريخ [أشكال] الحياة على كوكبنا. فلحسن الحظ، فإن علم الإحاثة أو دراسة أشكال الحياة في العصور القديمة يمكن أن يطلع عليها الشخص العادي بدون تعلم علمي متعمق. إن هدفي طَموحٌ. إني أحاول أخذك إلى حواف معارفنا في علم الحياة القديمة، مرِيًا إياكَ كيف تطورت الحياة على كوكب الأرض، وكيف أنشأنا تاريخ ذلك التطور من خلال سجل الصخور والمتحجرات.

رغم ذلك، فهناك عقبة. فإذا كان تاريخ البشر لا يكون بسيطًا أبدًا، حتى عندما نحاول وصفَ أحداثٍ حدثت السنةَ الماضية. وإن الأمر يصير أشد سوءً عندما نسأل لماذا حدثت الأحداث. فأيضًا لا يُرجَّحُ أن أيَّ بيانٍ لتاريخ الحياة سيكون بسيطًا. يحتوي العالم المليء بالحياة في عصرنا على كل أنواع الكائنات التي تقوم بأمور غير متوقعة. فهناك ضفادع تطير وطيور لا تستطيع الطيران. وهناك ثدييات تضع بيضًا وزواحف تلد مواليد حية وبرمائيات ترضع صغارَها. وهناك أسماك تتنفس الهواء وثدييات لا تمس اليابسة أبدًا. علينا أن نتوقع أنه قد كان هناك طرق معقدة وغير عادية للحياة في الماضي، وأن التطور اتخذ بعض الانعطافات الغير متوقعة في بعض الأحيان.

إن تحدي تعليم علم الأحياء القديمة، وتحدي كتابة كتاب كهذا هو تقديم قصة معقدة بطريقة تكون سهلة على الفهم، ومع ذلك صحيحة على نحو كافٍ بالنسبة للأحداث الواقعية بحيث ترسم صورة معقولة لما حدث وأسبابه. إني أعتقد أن هذا يمكن القيام به، وبحيث تستطيع على نحوٍ كافٍ تقدير ما يجري في المشاريع البحثية الحالية.

يستطيع علماء المتحجرات والأحياء القديمة paleontologists تحديد كيفية حدوث عمليات التطور وكيف عاشت الكائنات الحية الخاصة بالماضي. إننا لا نستطيع إثبات ذلك بأكثر مما نستطيع إثبات ماهية الدوافع التي حثت بالفعل الرئيس الأمِركِيَّ التاريخيَّ جورج واشنتُنْ. لكننا نستطيع التصريح على نحو واضح بما نعرفه وما لا نعرفه، نستطيع اقتراح أسباب حدوث أحداثٍ معينة، ونستطيع وصف الأدلة التي نستعملها والأفكار التي تكمن وراء اقتراحاتنا. بالتالي يستطيع الناس قبول تلك الأفكار أو عدم قبولها، حسبما يريدون.

كان ولا يزال علماء الأحياء القديمة يَجْمَعون المتحجراتِ، ويدرسون الصخورَ التي جاءت منها، ويجمعون البيانات في هيكلٍ متسق متماسك، منذ أكثر من ٢٠٠ سنة. في العصر الحالي أعتقد أن ما يحدنا أكثر هو افتقاد الأفكار الجيدة وليس الحقائق المتاحة عن السجل الأحفوري. إني لا أخشى من عرض تفسيرات الأحداث وكذلك توصيفاتها. وهي في معظمها تفسيرات الآخرين، لكني في مرات عديدة اقترحتُ بعض التفسيرات والتوصيفات الخاصة بي. تستطيع أن تقبل هذه أو لا تفعل، حسبما تريد. إن السؤال الذي ستواجهه هو كسؤالٍ لعضو في هيئة حكم محلفين: هل هذه الفكرة سليمة وفوق كل شك منطقي؟ فإن لم تقبل تفسيرًا لحدثٍ، يمكنك تركه بلا تفسير على الإطلاق مع اعتباره غموضًا كريهًا، أو يمكنك اقتراح تفسير أفضل بنفسك.

رغم ذلك، فهناك تحذير واحد. فلا يجوز لأي أحدٍ أن يتخيل أي تفسير لأحداث في الماضي. فيجب على الاقتراح العلمي أن يتلاءم مع الأدلة المتاحة، ومع قوانين الفيزياء والكيمياء، ومع مبادئ علم الأحياء وعلم البيئة وكائناتها والهندسة والتي جُمِعَتْ وأُكْمِلَتْ خلال الـ٢٠٠ سنة الماضية من التحري العلمي.

هناك نقطة انتباه أخرى: فهيئة المحلَّفين تحكم على قضية ما مرة واحدة فقط ونهائية، من خلال الأدلة المتاحة. أما في العلم فإن المحكمين في مهمة دائمًا، والأدلة الجديدة تَرِدُ [تأتي] طوالَ الوقت. فقد تغيّر حُكمًا بلا ندمٍ لأنكَ قمتَ بأفضل حكم (مخطئ) استطعتَ تأسيسَه على أساس الأدلة القديمة. إن بعض الأفكار في الطبعات الأقدم [من هذا الكتاب] كانت خاطئة، ولن تجدها هنا في هذه الطبعة؛ فستجد أفكارًا أفضل. تكون الإجابة الجديدة أحيانًا أكثرَ

تعقيدًا وأحيانًا أبسط. رغم ذلك، فدائمًا ما تلائم الفكرةُ الجديدةُ الأدلةَ على نحوٍ أفضلَ. تلك ببساطة طريقة عمل العلم؛ ليس على أساس الاعتقاد، ولا على أساس التشبث العاطفي بفكرة مفضلة (حتى لو كانت فكرتك)، بل على أساس الأدلة.

لا أتوقع أبدًا أن أقدر على كتابة حلول نهائية للأسئلة الكبيرة الرئيسة بصدد تاريخ الحياة، لكني أتوقع بالفعل أن أقدر على تقديم حلول أفضل هذه السنة مما استطعت تقديمه في السنة الماضية. فلو كانت محاضراتي هي نفسها هذه السنة كما كانت في السنة الفائتة، لكان بالتالي شيءٌ ما خطأً في علمنا، أو فيَّ. إن علم الأحياء القديمة مثير لأنه يتقدم بسرعةٍ للغاية.

وبما أن علم الأحياء القديمة متغير متقدم بسرعة هكذا، فكان يجب على هذا الكتاب أن يتغير أيضًا. فلقد أعدت الكتابة على نحو جذْري للأقسام عن نشأة الحياة، وعن نشأة وتشعب الحيوانات الميتازوية (التي تنتظم خلاياها في طبقتين أو أكثر)، وعن الديناصورات، والطيور، وتطور البشر. لقد أدركتُ على نحو أوضح أن الحياة قد تطورت على كوكب متطور متغير، مع كيمياء متغيرة وجغرافيا متغيرة ومناخ متغير، وقد سعيت لحياكة هذه الخيوط في النسيج العام للكتاب كذلك. وكل قسم آخر قد غيرته قليلًا ليعكس الأبحاث الجديدة.

بينما أكتب هذا، فإن التطور التام الخاص بالإنترنت في النشر والتعليم والتزويد بالمعلومات في مرحلة مبكرة من ثورة. يمكنني موقع الإنترنت المخصص لهذا الكتاب على /www.geology.ucdavis.edu/cowen/HistoryofLife، وانظر كذلك blackwellpublishing.com/cowen، من إضافة مادة مُثرية لم أكن لأستطيع إيجاد مساحة لها في الكتاب الورقي المطبوع. وأكثر من ذلك أنها تمكنني من ربط وإحالة القارئ بمواقع إنترنتية أخرى للاطلاع على صور توضيحية ملوَّنة، وبيانات أكثر تفصيلًا عن المشاريع البحثية ومقالات حول الأخبار العلمية البارزة المفاجئة. يُعنَى موقع الإنترنت بإضافة خلفية معرفية وتفاصيل وأبعاد منظورية أكثر لمن يهتمون. إن المقالات والمقالات الموجزة مكتوبة بنفس أسلوب الكتاب؛ التوافه لا يمكن مقاومتها، وروابط الموقع ستقودكم إلى مواقع كثيرًا ما تحتوي على صور توضيحية بغزارةٍ بطريقة لا يستطيع الكتابُ مجاراتَها.

لقد كتبتُ الكتابَ بحيث يقوم بذاته بدون موقع الإنترنت؛ إلا أن صفحات موقع الإنترنت ترتبط بالكتاب على نحو شامل. سوف يحتوي الكتاب أيضًا على تحديثات للمادة ومراجع جديدة ومعلومات جديدة.

إلى زملائي في التدريس

إن الكورس الذي كُتِبَ لأجله هذا الكتاب يلائم ثلاثة جماهير في نفس الوقت: إنه مقدمة إلى علم الأحياء القديمة؛ إنه كورس تعليم عام لتعريف غير المتخصصين بالعلم والتفكير العلمي؛ ويمكنه أن يُستخدَم كمقدمة إلى تاريخ الحياة لعلماء الأحياء الذين يعرفون الكثيرَ عن الحاضر والقليلَ عن الماضي. لذلك، فإن أسلوب ولغة هذا الكتاب تهدف إلى أن تكون سهلة المُتناوَل. فلا أستعمل اللغة الاصطلاحية العلمية إلا لو كانت مفيدة. ولقد سعيت لتوضيح كيف نفسر بالأسباب المنطقية استنتاجاتنا، وكيف نميز ونختار من بين الأفكار الرديئة والجيدة. ولم أضعف أسلوب اللغة الإنجليزية إلى لغة رديئة لتوضيح مقاصدي. باختصار، فقد وجهت هذا الكتاب للأذكياء الغير متخصصين.

ولم أشمل بالتغطية كل سجل المتحجرات بالتساوي. بل سعيت لكتابة مباحث موجزة عما أعتقد أنه أهم الأحداث والعمليات التي شكَّلَتْ تاريخ الحياة. فهي توضح أهم الطرق التي نشرع بها في إعادة إنشاء تاريخ حياة الماضي. ولقد استعملت الأمثلة الدراسية الخاصة بالفقاريات أكثر من أي مجموعة أخرى ببساطة لأن تلك هي الحيوانات المألوفة لنا أكثر. إن معظم المتحجرات [الموجودة في الكوكب] هي للافقاريات بحرية، ومعظم علماء الأحياء القديمة _بما فيهم أنا_ متخصصون في اللافقاريات. لقد سعيت لأن أكتب على نحو مختصر عن اللافقاريات بمستوى تمهيدي. وهي ليست أسهل وأنسب كائنات لاستعمالها في هذا المستوى، وقد تحكمت تلك الفكرةُ في اختياري لموضوع المادة.

إني مبتهجٌ بنص هذا الكتاب؛ فأنا أعتقد أنه يوصل الكثير عن علمنا في حدود المساحة المتاحة فيه. لكنْ يستحيل توصيل علم الأحياء القديمة على نحو جيد بدون محتوى بصري توضيحي أكبر بكثير مما يمكن أن يُتضمَّنَ في صيغة كتاب رخيصة [السعر] نسبيًّا. لذلك فإن هذا الكتاب مقصر في عرض الصور التوضيحية. إني أستعمل الكثير من الصور في حصصي محاولةً لجلب الكائنات المتحجرة والحية إلى حجرة الدراسة، وإعطاء الحياة والحيوية

للكلام والأسماء. تحتوي صفحات موقع الإنترنت على الكثير من المصادر للاطلاع على الصور التوضيحية على الإنترنت مباشرةً والتي يمكن تحميلها إلى وسيلة اطلاعك المفضلة.

إن المراجع مزيجٌ مختار بعناية من الكتب الهامة والأدبيات العلمية الابتدائية وتقارير الأخبار ومقالات المراجعات وهي التي أدت إلى هذا العمل الأخير في هذا الإصدار حينما ذهب إلى المطبعة. ولقد ضبَّطْتُ عن قصدٍ قوائم المراجع لتتضمن كتبًا يُرجَّح العثور عليها في الكليات الصغيرة ومكتبات المدن.

لو كان هذا الكتاب لا يحتوي على أي شيء محل خلاف، لكان سيكون مملًّا بليدًا جدًّا وأبعد ما يكون عن تمثيل وضع علم الأحياء القديمة على ما هو عليه في العصر الحالي. وقد سعيتُ لتقديم حجج لصالح وضد أفكار معيَّنة والتي هي مقدَّمة ببعض التفصيل، مثل الانقراض الكبير في العصر الكربوني– الترياسي. رغم ذلك، فكثيرًا ما دفعتني المساحة المتاحة أو الاقتناع إلى أن أقدم جانبًا واحدًا فقط من جدالٍ. فأرجو منكم أن تشاركوا شعورَكم بالاستياء وعدم الرضا و/ أو معرفتكم الأكثر اكتمالًا مع طلابكم، وأن تخبروهم لماذا تعطي معالجتي [لموضوعٍ ما] جانبًا واحدًا من الآراء أو أنها مجرد خطإٍ صرفٍ. بهذه الطريقة يستفيد الجميعُ بالتعرض للنقاش حول الجدالات العلمية كما ينبغي أنْ يُمارَس بين الزملاء.

إلى الطلاب

عدة آلاف من الناس مثلكم قد صوَّتوا من خلال تعليقاتهم وأسئلتهم ولغتهم الجسدية وتقييماتهم المكتوبة الرسمية على محتوى كورسي. لقد كان لهؤلاء الناس التأثير الأكبر على أسلوب ومحتوى هذا الكتاب أكثر من أي أحدٍ آخرَ. لذلك فإنك وزملاءك في جامعة كاليفورنيا– ديفِسْ تستحقون الفضل الغير محدود فيما يتعلق بالأسلوب الذي قُدِّمَتْ به المادةُ.

بعد كل هذه التشكرات، فلدي أيضًا نقطة أخرى أود الإشارة إليها: لا يتوجب عليكَ أن تتخذ أيًّا من التفسيرات في هذا الكتاب بنفس تقييمي لها. فالحقائق هي الحقائق، أما الأفكار فهي مجرد اقتراحات. إن كنت تستطيع الإتيان بفكرة أفضل من إحدى اللاتي ضمَّنتُها هنا، فاعمل على ذلك، وابدأ مع مراجع الأدبيات العلمية المنشورة. فهذا سوف يكون بحث فصل دراسي عظيم و _على نحو أكثر أهمية_ قد تكون مُصيبًا. إن شعار ستينيات القرن العشرين "تشَكَّكْ في المرجع [أو السلطة]" لا يزال صالحًا. لن يكون اقتراحُكَ [في حال كونه صحيحًا] أولَ مرةٍ يكتشف فيها طالبٌ فكرة جديدة وأفضل لتفسير السجل الأحفوري.

لماذا أشغل أنا نفسي بالماضي ولماذا ينبغي عليكَ أن تفعل ذلك؟ لو أننا لا نفهم الماضي، فكيف سنستطيع التعامل بذكاء وبراعةٍ مع الحاضر؟ إننا وبيئتنا نمر بوضع متأزم لدرجة أننا نحتاج كل عونٍ نستطيع الحصولَ عليه. لقد أجرت الطبيعة [تلقائيًّا وبغير تقصدٍ] سلاسلَ من التجاربِ خلال آخر 3, 5 مليار سنة على هذا الكوكب، مغيِّرة المناخَ والجغرافيا ومنتِجةً أنواعًا جديدةً من الكائنات المتعضية [ذوات الأعضاء أو العُضَيَّات]. فإنْ نستطعْ قراءةَ نتائجِ تلك التجارب [التلقائية] من خلال سجل المتحجرات، فربما نستطيع تحديد الحدود التي يمكننا وفقًا لها الضغطُ على محيطنا البيئي قبل أن تحدث كارثة بيولوجية.

إن المكسب الحقيقي بالنسبة لي من علم الأحياء القديمة هو المتعة المتضمنة في إعادة بناء الكائنات المتعضية المنقرضة والجماعات والطوائف القديمة، لكنْ لو أن المرءَ يحتاج إلى سببٍ واقعيٍّ صلبٍ لأجل النظر إلى سجل المتحجرات، فإن مستقبل الجنس البشري بالتأكيد هامٌّ على نحوٍ كافٍ بالتأكيد لأيِّ أحدٍ.

هذا الكتاب

أبدأ هذا الكتابَ بالحديث عن تكوُّنِ كوكب الأرض والمشكلة الكبيرة الغير محلولة الخاصة بنشأة الحياة. ثم أصف طبيعة كوكب الأرض المبكر الذي استعمره بكامله البكتيريا، والذي كان غريبًا للغاية في كيميائه وطبيعته البيئية بحيث قد يُعتبَرُ بمثابةِ كوكبٍ آخر حقًّا. وفي النهاية، غيَّرَتْ الكائناتُ الحيةُ عالمَها للغاية بحيث نبدأ في تمييز البيئات والكائنات المتعضية التي تبدو مألوفةً لنا أكثرَ بكثيرٍ. ثم أصِفُ تطور الحيوانات [المبكرة] وأنشغل في البحث

بخصوص بيئاتها الفيزيائية والحيوية [بالتشارك والتوازن مع الكائنات المتعضية الأخرى]. بالنسبة للآن [كبداية]، فنحن نتعامل مع عالَمٍ نستطيع الشروعَ في إعادة إنشاء جغرافيته القديمة، مما يؤدي إلى فصولٍ حول حركات طبقات صفائح الأرض ومناخات العصور الماضية، وكيف قد تكون أثَّرَتْ على الكائنات الحية.

يمكِّننا السجل الأحفوري الضخم الخاص باللافقاريات من قياس تنوع أشكال الحياة عبر الزمن، وهو ما يُظْهِر ويبرهِن على أنه قد كانت هناك أزمنةٌ ذات تنوعٍ كبيرٍ، وأزمنة أخرى فيها انقراضات درامية [هائلة مفاجئة]. أتناول الانقراضَ، لأنظر على نحوٍ رئيسيٍّ إلى الأزمات أو الانقراضات الكبرى الجماعية التي قد حدثتْ على نحوٍ متقطِّعٍ عبرَ الزمنِ. ثم ألتفت على نحو رئيسي إلى تاريخ الفقاريات، متبعًا بعض الابتكارات التشريحية والفسيولوجية [الخاصة بوظائف الأعضاء] والخاصة بعلاقات الكائنات مع بعضها في بيئاتها والتي من خلالها تطورت الأسماك إلى برمائيات ومنها إلى سائر تصنيفات رباعيات الأقدام على اليابسة، بما في ذلك أنفسنا.

بعض زملائي متشككون بصدد "الارتقاء" أو "التقدم" التطوري، لكني أعتبر الأدلة عليه كاسحة قوية، وقدمت أمثلةً كثيرةً. لم أحاول كتابة بيان أو كتالوج تاريخي بسيط للمتحجرات. بل بدلًا من ذلك سعيت لوضع سلاسل الأحداث المترابطة المثيرة للاهتمام الخاصة بتاريخ كوكب الأرض في صورة [أو إطارٍ] شاملٍ. كمثالٍ، فإن المأساة التي أصابت المجموعات الحية في حقبة الدهر الوسيط منذ ٦٥ مليون عام ماضٍ يجب رؤيتها من جهة نجاح تلك المجموعات الحية حتى ذلك الزمن، ويمكن فقط تثمين تشعب وتنوع الثدييات مقارنةً بخلفية الجغرافيا النباتية والمناخ المتغيرَيْن. وأخيرًا، بزوغ هيمنة الإنسان على العلاقات بين الكائنات في البيئة له ما يوازيه في التغيرات الهائلة في حيوانات البيئات التي ترافقت مع ذلك الحدث، وكلها توضَع في سياق العصور الجليدية.

للاطلاع على قراءات ومراجع أكثر

لقد سعيت لوضع قائمة بالكتب والجرائد المباعة على نحو واسع مثل دوريات الطبيعة Nature والعلم Science والاكتشاف Discover والأمِركية العلمية Scientific American ومجلة الجغرافية الوطنية National Geographic Magazine والعالِم الأمِركية American Scientist، ولعلها أكثر ست جرائد توزيعًا مما تتناول كل جوانب العلم. وقد أدرجت أيضًا قائمة بالكتب والمقالات في الجرائد المتخصص؛ وعمومًا _ولكن ليس دائمًا_ تكون الكتابة في مثل تلك الجرائد أكثر تفصيلًا ومصطلحاتٍ تقنيةً اصطلاحيةً.

كثيرًا ما تكون الأعمال الهامة الأقدم ملخَّصةً في المقالات الأحدث التي اخترتها. مع ذلك، ينبغي دائمًا أن تكون قادرًا على أن تعود سريعًا إلى الأبحاث الأقدم من خلال المراجع المحال إليها في المقالات الأحدث.

مواد متاحة على موقع الإنترنت لأجْل هذا الكتاب

للاطلاع على قوائم مراجع أكثر، وعلى مراجع متاحة مجانًا على الإنترنت، وقراءات أكثر تقدمًا، وملاحظات، وقصص إضافية ومقالات ومباحث موجزة بقلمي، ومصادر للفصول الدراسية وصور، وتحديثات، انظر موقع الإنترنت المخصص لهذا الكتاب:
http://www.blackwellpublishing.com/cowen، ونسخته الاحتياطية الأخرى على:
http://www.geology.ucdavis.edu/~cowen/HistoryofLife/.

إن وجدت أيقونة، فإنها تشير إلى أن هناك تعليقًا أو شرحًا مهمًّا أو مبحث موجز إضافي حول الموضوع محل النظر على موقع الإنترنت.

تشكرات وعرفان بالجميل

أشكر كل المراجعين الذي قدّموا نصائحَهم الدقيقة والرصينة: Norm Gilinsky و Ken McKinney منذ الإصدارات الأقدم، وهذه المرة في هذا الإصدار Paul Koch وزملاء آخرين بدون ذكر أسماء. آمل أن يميّزوا مساهماتهم، وأعتذر لتجاهلي البعض منها بفظاظة. لقد ألهمني موقع الإنترنت الخاص بـ Doug Eernisse الخاص بجامعة ولاية كاليفورنيا، Fullerton، عندما شرعتُ في إنشاء موقعي الخاص بي التابع لديفِسْ Davis.

أدين بالكثير للقوم في دار نشر بلاكْوِل Blackwell الذين شجعوني وساعدوني عبر السنين. أود أن أشكر على الأخص Simon Rallison and Jane Humphreys لأجل مساعدتهما في الماضي، و Nancy Whilton and Elizabeth Wald لأجل هذا الإصدار.

لا يقع اللوم على أيٍّ من هؤلاء الناس لأجْل أي نقائص وعيوب؛ أرجو توجيه الشكوى لي مباشرةً على البريد rcowen@ucdavis.edu.

ختامًا، أشكر مرة أخرى زوجتي جو Jo، وابنتَيَّ كلير وألِكْسانْدرا Claire and Alexandra لأجْل تحملهن لإهمالي لهن بينما كنت أقوم بكل هذا. إنْ تشترِ هذا الكتابَ فيُحتمَل بشدة أن تساهمَ في حرمانهم الإضافي المستقلي بتشجيعكَ على إصدار إصدارة جديدة.

رِتْشَرَد كُوِنْ

ونتَرْزْ – كاليفورنيا

الفصل الأول

نشأة الحياة على كوكب الأرض

قواعد علم الجيولُجي [علم طبقات الأرض ومكوناتها]

الجيولُجي [الجيولوجيا] هو علم دراسة الأرض التي نعيش عليها. وهو يستخدم ويقتبس من وسائل ومبادئ من العديد من العلوم؛ كالفيزياء والكيمياء والأحياء والقليل من الرياضيات والإحصاء. يجب على علماء طبقات الأرض أن يعرفوا على الأقل القليل عن العلوم العديدة؛ فلا يمكنهم أن يكونوا متخصصين ضيقي الأفق. فالجيولُجي علمٌ واسعٌ يصلُح على أفضل نحو للناس الذين يفكرون على نحو متسع متحرر. لذلك فلا يستطيع أغلب علماء الجيولُجي النجاح لو كانوا مملين (رغم أن القليل منهم يبدو أنهم نجحوا في ذلك). وعلى نحوٍ أكثرَ أهميةً يتعامل علم الجيولُجِي مع حقيقة الأرض: صخورها ومعادنها وأنهارها وبحيراتها ومحيطاتها وسطحها وبنيتها العميقة. دائمًا يتحكم واقع الأدلة من ميدان العمل فيما يمكن وما لا يمكن أن يقال عن الأرض. تُختبَر الفرضياتُ الجيولُجية في مقابل الأدلة من الصخور، وقد فشلتْ كثيرٌ من النظريات الجميلة في الإيفاء بهذه الاختبارات المُتطَلَّبة.

يتعامل بعض الجيولُجيين مع الأرض كما هي عليه الآن؛ فلا يحتاجون إلى النظر إلى الماضي. فتاريخ الأرض لا يهم كثيرًا بالنسبة لجيولُجِيٍ يسعى لعمل إصلاحٍ بيئي لمنجم ذهب مهجور. لكن كثيرًا من الجيولُجيين يحتاجون إلى التعامل مع تاريخ الأرض، ويجدون أنهم يدرِسون كوكبًا يتغير، على كل مقاييس المساحة والزمن، بأكثر الطرق إدهاشًا أحيانًا. إننا صرنا نعلم منذ ٢٠٠ سنة أن [أشكال] الحياة على كوكب الأرض قد تغيرت، فنستطيع جمع المتحجرات كدليلٍ مباشرٍ وصلبٍ موثوقٍ على ذلك. لكن علماء الجيولُجي [طبقات الأرض ومكوناتها] توصلوا تدريجيًا إلى إدراكِ أن الحياةَ قد تطورت على كوكبٍ كان ولا يزال يتغير هو أيضًا.

لقد صارت الأفكار حول الجغرافيا والمناخ والكيمياء المتغيرة أكثرَ أهميةً بكثيرٍ مؤخرًا في نقاش تاريخ الأرض. وأفضل مصادرنا للتبصر في تلك التغيرات يأتي من الدليل الحفري الخاص بالكائنات الحية التي عاشت وبقيت على قيد الحياة خلال تلك الظروف (أو لم تفعل ذلك). بالتالي فإن علم الأحياء القديمة ليس مجرد فرع جانبي رائع من علم الجيولُجِي، بل هو عنصر أساسي حيوي له.

بينما تُجرِي الكائناتُ المتعضيةُ عمليات حيواتها، فإنها تمتص وتغيِّر وتُطلِق الموادَ الكيميائية. وبالنظر إلى وجود كم كافٍ من الكائنات المتعضية والزمن، فإن العمليات الحيوية (البيولُجِيَّة) تستطيع تغييرَ العالَمَ الكيميائي والفيزيائي. إن عملية التمثيل الضوئي _والتي تقدم الأكْسُجِنْ إلى غلافنا الجوي_ هي واحدة فقط من هذه العمليات. وبدورها، فإن العمليات الفيزيائية الخاصة بالأرض كتحرك القارات والبركنة أو التبركن (صعود الحمم السائلة اللافة أو الغازات إلى سطح الأرض أو لتقتحم في طبقات الأرض) وتغير المناخ يؤثر على الكائنات المتعضية، مؤثِّرًا في تطورها، والذي بدوره يؤثر على الطريقة التي يؤثر بها على فيزيائية الأرض. هذا تفاعل ضخم، أو آلية تغذية استرجاعية، والتي استمرت في الحدوث منذ نشأت وتطورت الحياة على كوكب الأرض. إن علماء الأحياء القديمة [البيليَأنْتُلُجي] وعلماء الجيولُجِي الذين يتجاهلون هذا التفاعل يُرَجَّحُ أن يحصلوا على إجاباتٍ خاطئة بينما يحاولون إعادة إنشاء الماضي.

قواعد علم الأحياء القديمة والمتحجرات [البيليَانْتُلُجي] Paleontology

لقد حُفِظَتْ بعض أشكال الحياة القديمة على كوكب الأرض في الصخور كمتحجراتٍ، وإن دراسة هذه المتحجرات هي علم الأحياء القديمة. يتعامل علم الأحياء القديمة مع تفسير المتحجرات باعتبارها كانت كائنات متعضية تعيش وتتزاوج وتموت في بيئة حقيقية على كوكب أرض حقيقي لكن في الماضي، والذي لا نستطيع من بعد لمسه ولا رؤيته ولا شمه مباشرةً؛ فنحن ندرك ذلك الكوكب الأرضي القديم المفترَض من خلال دراستنا للمتحجرات والصخور التي حُفِظَتْ فيها.

معظم علماء الأحياء القديمة لا يدرسون المتحجرات لأجْل فائدتها الجوهرية [في حد ذاتها لهم]، رغم أن البعض منا يفعل. إن قيمتها الأعظم تكمُن فيما تخبرنا عن أنفسنا وخلفيتنا. فنحن نهتم بمستقبلنا، والذي هو استمرار لماضينا. أحد الأسباب الوجيهة لمحاولة إعادة بناء [أشكال] الحياة القديمة هو لإدارة البيولوجيا الخاصة بكوكبنا في العصر الحاليّ على نحوٍ أفضلَ، لذلك فإننا نحتاج إلى تأسيسِ نوعٍ ما من المنطق المعقول لتفسير [أشكال] الحياة الخاصة بالماضي.

بعض المشاكل الخاصة بعلم الأحياء القديمة والمتحجرات مشابهة لتلك الخاصة بعلم الآثار والتاريخ: فكيف نعرِف أننا وجدنا التفسير الصحيح لحدث ما في الماضي؟ وكيف نعرف أننا لا نختلق قصةً فقط؟

ينبغي أن يكون أي شيء نقترحه بخصوص علم الأحياء معقولًا في ضوء ومن جهة ما نعلَمُه عن بيولوجيا الكائنات المتعضية الحية، ما لم يكن هناك دليل جيد وقويٌ جدًّا على نقيض ذلك. تنطبق هذه القاعدةُ على كل علم الأحياء [بفروعه]، بدءًا من الكيمياء الحيوية للخلية وعلم الجينات والوراثة، والفِزْيُلُجِي [علم وظائف الأعضاء]، والإيكُلُجي [علم علاقات الأنواع ببعضها البعض في البيئة وعلاقتها بالبيئة]، وعلم سلوك الحيوان، وعلم التطور.

لكنَّ الاقتراحاتِ هي مجرد اقتراحات فقط حتى تُختَبَرَ في مواجهة الأدلة من المتحجرات والصخور. ولأن المتحجرات يُعثَر عليها في صخورٍ، فإن لدينا اطلاعًا على معلومات بيئية عن موطن الكائن المتعضّي المنقرض [الذي يكون فيها]؛ كمثالٍ، قد يُظْهِرُ الصخرُ دليلًا واضحًا على أنه كان ترسَّب تحت ظروف صحراوية أو أنه كان على شعب صخرية فوق ماء ضحل. بالتالي فإن المتحجرات ليست أشياء معزولة بل هي جزء من صورة أكبر. كمثال، يصعب تفسير بيولوجية الطائر الأول المعروف، أركيوبترکس [يعني اسمه باللاتينية: الجناح العتيق]، ما لم ندرس الدليل البيئي من محجر الحجر الجيري في Solnhofen والذي حُفِظَ فيه (انظر الفصل ١٣).

ينبغي أن يكون القارئ النبيه قادرًا على التمييز بين أربع مستويات من التفسير الخاص بعلم المتحجرات. فأولًا، هناك استنتاجات حتمية لا يوجد لها بدائل محتمَلة. كمثال، ليس هناك شكٌّ أن الديناصورات ذات الشكل السمكي ichthyosaurs كانت زواحف بحرية سبَّاحة. في المستوى التالي، توجد تفسيرات مرجَّحة. قد يكون لها بدائل، لكن كمًّا كبيرًا من الأدلة يدعم فكرةً واحدة بارزة. كمثال، هناك دليل قوي يقترح أن الديناصور سمكي الشكل كان يلد صغارًا بدلًا من وضع بيضٍ. يعتبر كل علماء المتحجرات paleontologists تقريبًا أن هذه أفضل فرضية متاحة وسيندهشون لو اكتُشِفَ دليلٌ مناقضٌ لذلكَ.

ثم هناك تخمينات. قد تكون صحيحة، لكنْ ليس هناك الكثير من الأدلة الواقعية المعروفة على نحوٍ أو آخر. يجوز لعلماء المتحجرات قبول التخمينات كأفكار مؤقتة تجريبية للعمل بها واختبارها بعناية، لكنْ لا ينبغي أنْ يُفاجَؤوا أو يتضايقوا إذا اكتُشِفَ أنها خطأ. كمثال، يبدو معقولًا لي أن الديناصورات سمكية الشكل (الإِتشثَايْسورات ichthyosaurs) كانت من ذوات الدم الحار، لكن هذه فكرة تخمينية لأنها يصعب اختبارُها. إن أثبتت أدلةٌ جديدة أن الفكرة غير مرجَّحة، فقد أصير محبطًا شخصيًّا، لكني ما كنت سأتضايق من الناحية العلمية.

وآخرًا، هناك حدسيات. قد تكون من ناحية علم الأحياء أكثر معقولية ظاهرية مما قد يقترحه المرء غيرها، لكنْ لسببٍ أو آخر فإنها تكون غير قابلة للاختبار بتاتًا ولذلك يجب أن تُصَنَّفَ باعتبارها غيرَ علميةٍ. كمثال، لو أني طلبتُ من فنانٍ أن يرسم أحد الإتشثَايْسورات ichthyosaur [ديناصورًا سمكيَّ الهيئة]، فلعلي كنت سأقترح أنماطًا بيضاء وسوداء واضحة، كالخاصة بالحيتان القاتلة الحية في عصرنا، بينما قد يفضل عالم متحجرات آخر ألوانًا أكثر خفة كالألوان الخاصة بالدلافين الحية في عصرنا. كلا الفكرتين معقولتان، وهما بالتأكيد أفضل من النقط الخضراء مع القرنفلية التي قد يراها المرء في فيلم كرتون رسوم متحركة على التلفزيون. لكنها مجرد تخمينات [أو حدسيات]، لأنه لا يوجد دليل على الإطلاق.

سوف تجد أمثلة على كل الأربعة أنواع من التفسيرات في هذا الكتاب. كثيرًا ما تكون فئة وضع الاقتراحات المختلفة مسألة رأي، وقد سببت هذه المشكلةُ الكثير من الخلافات في علم المتحجرات والأحياء القديمة. هل كانت الديناصورات حارة الدماء [تتحكم في درجة حرارة أجسامها ذاتيًّا]؟ يعتقد بعض علماء الأحياء القديمة أن هذا استنتاج حتمي من خلال الأدلة، بينما يعتقد بعضهم أنه مرجَّحٌ، ويعتقد آخرون أنه مجرد تخمين، ويعتقد آخرون أنه غير مُرَجَّحٍ، ويعتقد البعض أنه خطأٌ تمامًا. تساعد الأدلة الجديدة دائما تقريبًا على حل وحسم الأسئلة القديمة لكنها تطرح أيضًا أسئلةً جديدةً. بدون الأفكار الذكية ومحاولات مستمرة لاختبارها في مقابل الأدلة، لما كان علم المتحجرات والأحياء القديمة سيكون مثيرًا كما هو عليه.

إن سجل المتحجرات يصير أقل وأكثر جدَبًا تدريجيًّا كلما عدنا إلى الوراء في الزمن، وذلك لسببين. فبيولُجيًّا، كانت توجد أنواع أقل من الكائنات المتعضِّية في الماضي. وجيولُجيًّا، فإن صخورًا (ومتحجرات) أقل نسبيًّا وبالمقارنة قد تبقت من العهود الأقدم، وتلك التي تبقت ونجت كثيرًا ما تكون قد عانت من التعرض للحرارة والتشوه وتغيراتٍ أخرى، يؤدي كلٌّ منها إلى تدمير المتحجرات. لقد كانت أشكال الحياة المبكرة الخاصة بالأرض بالتأكيد مجهرية

[ميكروسكوبية] ورقيقة الأجساد، وهي مجموعة مؤتلفة من صفتين غير واعدة بالنسبة لعملية التحجر. لذلك فإن الأدلة المباشرة على أصل نشأة الحياة على كوكب الأرض هزيل جدًّا.

أصل ونشأة الحياة

لا يوجد أي دليل قوي على وجود حياة، ناهيك عن وعي وذكاء أو حضارة، في أي مكان في الكون ما عدا كوكبنا، الأرض. هذه الحقيقة الخاصة بالملاحظة تواجه الجهود الشديدة من قِبَلِ المجلات الخفيفة ومخرجي الأفلام ووكلاء دعاية وكالة ناسا لإقناعنا بخلاف ذلك. رغم ذلك، فهي حقيقة بينما أنا أكتب هذا في عام ٢٠٠٣م، ويتوجب علينا أن نواجه نتائجها ومعانيَها الضمنية. هذه الملاحظة البسيطة تشير ضمنيًّا (لكنها لا تُثبِت) إلى أن الحياة تطورت هنا على كوكب الأرض. ما مدى الصعوبة التي سيكون عليها السعي لإثبات ذلك؟

نستطيع اختبار فكرة أن الحياة تطورت هنا على الأرض، من خلال المواد الكيميائية الغير حية، بالملاحظة والتجربة. يبحث علماء الجيولُجِي وعلماء الفضاء عن أدلةٍ من الأرض والقمرِ وكواكبَ أخرى لإعادة بناء الظروف التي كانت في النظام الشمسي المبكر. ويحدد علماء الكيمياء والكيمياء الحيوية كيف يمكن أن تكون قد تشكلت الجزيئات العضوية المعقدة في تلك البيئات. ويحاول علماءُ الجيولُجِي اكتشافَ متى صارت الحياة منشَأَةً ومترسخةً على كوكب الأرض، ويصمم علماء الأحياء تجاربَ لاختبار ما إذا كانت هذه الحقائق تتلاءم مع فكرة نشوء وتطور الحياة من مواد كيميائية غير حية.

نجد جزيئات عضوية معقدة قادمة من الفضاء الواقع بين النجوم، على المذنبات والكويكبات، ومن الغبار الكوني بين الكواكب، وعلى النيازك التي تصطدم بكوكب الأرض من آنٍ إلى آخر. لقد تشكلت هذه المركبَّات على الأرجح على نحوٍ طبيعيٍّ في الفضاء، لأن السحب الغازية وجسيمات الغبار الكوني وأسطح المذنبات والنيازك تُغمَر [تستحم] في الإشعاعات الكونية والشمسية. لكن الحياة كما نعرفها تتكون من خلايا مؤلَّفة في معظمها من ماء سائل والذي هو حيوي ضروري للحياة. يستحيل تصور تكوُّن أي نوع من الخلايا المحتوي على الماء في الفضاء الخارجي؛ لأن هذا يمكن أنْ يحدث فقط على كوكبٍ به محيطاتٌ وبالتالي له غلافٌ جويٌّ.

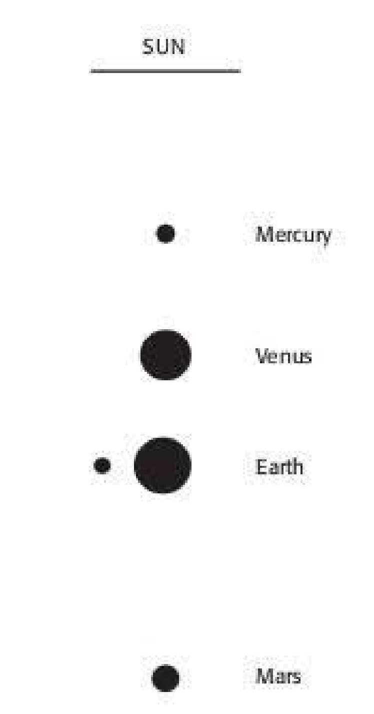
تصل إلى الكواكب مركبات عضوية من الفضاء، من المذنبات والنيازك، لكنْ لا يُرجَّحُ أن هذه العملية في حد ذاتها كانت ستؤدي إلى نشوء وتطور الحياة. لا بد أن الجزيئات العضوية قد وصلت إلى عطارد والمريخ والزهرة والقمر كما وصلت إلى الأرض، فقط لكي تُدمَّرَ وتتفكك بفعل الظروف القاسية الغير مواتية على تلك الكواكب الخالية من الحياة.

تثبِت التجاربُ أن تكوين كميات كبيرة من المركبات العضوية في الأغلفة الجوية للكواكب وعلى أسطح الكواكب أمر بسيط تمامًا، بافتراض وجود الظروف الملائمة. ربما قد أضافت الجزيئات المحمولة عبر الفضاء إلى الإمداد الموجود على سطح الأرض، لكنها ما كانت لتكون قط المصدر الوحيد للجزيئات العضوية التي أدت إلى نشأة الحياة.

الكواكب الداخلية للنظام الشمسي

كوكب الأرض هو واحد من أربعة كواكب يابسية (صخرية) في الجزء الداخلي من منظومتنا الشمسية (وهي على الترتيب: عطارد والزهرة والأرض والمريخ). إن الزهرة (ڤينَسْ) والأرض بنفس الحجم تقريبًا، والمريخ وعطارد أصغر بدرجة كبيرة. لقد تشكلت كلها بنفس الطريقة منذ حوالي ٤٥٧٠ مليون سنة ماضية، من الغبار الكوني والغاز، والأكثر ترجيحًا أنها كلها اكتمل تشكلها بدرجة كبيرة ككواكب منذ ٤٥٠٠ مليون سنة ماضية (أيْ: 5 ,4 مليار سنة)، رغم أنها أمطرت بوابل من القذائف بشِدَّة لمئات الملايين من السنوات حيث ضربت الكويكبات أسطحها. وكلها كانت ساخنة، وجعلتها الطاقة الحرارية المنطلقة بينما تتشكل ككواكب تصير مصهورةً جزئيًّا أو كليًّا. والأرض على وجه الخصوص قد صدمها جُرمٌ بحجم كوكب المريخ لاحقًا في فترة تكونها، وقد أذاب الاصطدام على الأرجح كامل الأرض. لقد أذاب ذلك الاصطدام على الأرجح كاملَ كوكب الأرض بينما تجمع الحطامُ قربَ الأرض وكوَّنَ القمرَ. ونعرف من فوهات الاصطدامات [على الأرض] والعينات المأخوذة من القمر أن الأرض والقمر مرًّا بقذف لاحق ثقيل منذ حوالي ٣٩٠٠ مليون سنة ماضية، وقد أثَّرَ نفس الحدث على الأرجح على كل الكواكب الداخلية الأخرى.

لقد انصهرت كل الكواكب الداخلية بعمق وشدة كافيين لكي تصير أسطحها ساخنةً وتُطلِق غازاتٍ لتكوِّنَ أغلفةً جويةً. لكنْ إلى هنا ينتهي التشابه، ويصير لدى كل كوكب داخلي تاريخه اللاحق الخاص به. رغم ذلك، فإنه لواضحٌ أن الكواكب المبكِّرة ليس أيٌّ منها مكانًا كان يمكن للحياة أن تنشأ وتتطور فيه.



الرسم ١– ١ الشمس والكواكب الداخلية أو الأرضوية (عطارد والزهرة والأرض والمريخ). هذه هي أحجامها ومسافاتها النسبية الصحيحة، نسبة الصورة إلى ٥ مليارات بالنسبة لأحجامها والمسافات بينها.

حالما يبرد الكوكب، فإن الظروف على سطحه يتحكم بها بدرجة كبيرة بعدُه عن الشمس ونوعيةُ الغازات البركانية التي تُطلَق في غلافه الجوي. بالتالي فإن جيولوجية الكوكب تؤثِّر بدرجة كبيرة على فرص احتمالية نشوء وتطور الحياة عليه.

إن الماء السائل حيوي أساسي لأجْلِ الحياة كما نعرفها، لذلك فلعل درجة حرارة السطح قد تكون أكثر صفةٍ مفردةٍ أهميةً لكوكبٍ حديثٍ. يحدِّد درجةَ حرارةِ السطح على نحو رئيسي مدى البعد عن الشمس؛ فلو كان بعيدًا للغاية ستتجمد المياه ثلجًا، ولو كان قريبًا للغاية ستتبخر المياه لتكوِّن بخارَ ماءٍ.

لكن البعد عن الشمس ليس العامل الوحيد الذي يؤثر على درجة حرارة السطح. فإن كوكبًا ذا غلافٍ جويٍّ مبكرٍ والذي يحتوي على غازات كالميثان وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء سيحبس إشعاعًا شمسيًّا أكثر فيما يُعرَف بتأثير "الصوبة الزجاجية"، وسيكون أدفأ مما قد يتوقع عالم فضاء بناءً على المسافة فقط.

بالإضافة إلى ذلك، فإن المسافة من الشمس وحدها لا تقرر ما إذا كان كوكبٌ به ماءٌ، فلو كان الأمر بخلاف ذلك لكان للقمر محيطاتٌ كالتي للأرض. فحجم الكوكب مهم، لأن الغازات تهرب إلى الفضاء من حقل الجاذبية الضعيف الخاص بكوكبٍ صغيرٍ. جزيئات الغاز كبخار الماء تُفقَد أسرعَ من كوكبٍ صغيرٍ، والغازات الأثقل تُفقَد مثل الخفيفة منها.

قد تُمتَص الغازات أيضًا من غلافٍ جويٍّ [لكوكبٍ] لو أنها تتفاعل كيميائيًّا مع صخور السطح. ويمكن أن تنبعث مجددًا فقط من خلال النشاط البركاني الذي يصهر تلك الصخور. لكن الكوكب الصغير الحجم يبرُد أسرعَ من الكبير، بالتالي فسرعان ما سيتوقف أيُّ نشاطٍ بركانيٍّ به حالما يتجمد باطنُه [لُبُّه]. وبعد ذلك، لن تعيد أو تضيف انبعاثاتٌ غازاتٍ إلى الغلاف الجوي. بالتالي، فإن الكوكب الصغير يتطور سريعًا إلى امتلاك غلاف جوي هزيل جدًّا أو بلا غلاف جوي على الإطلاق، وبلا فرصة لاكتساب غلاف جوي.

تحتوي الغازات البركانية نمطيًّا على كميات كبيرة من بخار الماء وثاني أكسيد الكربون CO2 (انظر الشكل التوضيحي ١– ٢)، وهي بمثابة صوبات زجاجية قوية [تحبس أشعة وحرارة الشمس]. كانت الأرض ستكون متجمِّدةً لمعظم تاريخها لولا وجود ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء في غلافها الجوي. ولعلهما يضيفان سويًّا حوالي ٣٣ درجة إلى متوسط درجة حرارة الأرض.

مع وضعنا كل هذه المبادئ في أذهاننا، فلننظر إلى احتماليات [أو إمكانيات بزوغ] الحياة على كواكب منظومتنا الشمسية. إن كلًّا من عطارد والقمر كان بهما انفجارات بركانية في تاريخهما المبكر، لكنهما صغيران. لقد برُدا سريعًا وهما الآن صلبان بالكامل. لقد هربت غازات غلافيهما الجويين سريعًا إلى الفضاء من حقلي جاذبيتهما الضعيفين أو طُرِدَتْ إلى خارجهما بفعل الاصطدامات الكبيرةِ [بالكويكبات]. اليوم فإن عطارد والقمر بلا هواء ولا حياة.

الزهرة أكبر من القمر أو عطارد، بنفس حجم الأرض تقريبًا. تغطي الصخور البركانية معظم سطحه. وكالأرض، فقد كان للزهرة تاريخٌ جيولُجيٌّ نشيطٌ وطويلٌ، مع إمدادٍ مستمرٍ بالغازات البركانية لغلافه الجوي، وله حقل جاذبية قوي يستطيع كبح والاحتفاظ بمعظم الغازات.

لكن الزهرة أقرب إلى الشمس مما تكون الأرض عليه منها، وقد احتُبِسَت الأشعة الشمسية الأكثف الضاربة للكوكب بفاعلية للغاية بفعل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون، لدرجة أن جزيئات الماء قد لا تكون أمكنها قط أن تتكثف كماء سائل. عوضًا عن ذلك، ظل الماءُ بخارًا في الغلاف الجوي حتى تفكك كيميائيًّا، منفصلًا إلى هيدروجين H2، والذي فُقِدَ إلى الفضاء، وأُكْسِجِنْ O2، والذي امْتُصَّ كيميائيًّا من خلال التفاعل مع صخور السطح الساخن للكوكب.

اليوم فإن للزهرة غلاف جوي كثيف ضخم مكوَّن في معظمه من ثاني أكسيد الكربون، وتتفاعل الغازات البركانية في الغلاف الجوي لتصنع قُطَيْراتٍ ضئيلة من حمض الكبريتيك H2SO4، مكوِّنةً سحبًا تخفي سطح الكوكب. وقد تبدد بخارُ الماء بالكامل. ورغم أن حمض الكبريتيك يعكس ٨٠% من الإشعاع الشمسي، فإن ثاني أكسيد الكربون يحبس الباقي، لذلك فإن درجة حرارة سطحه حوالي ٤٥٠ درجة مئوية (٨٥٠ فهرنهايت). يمكننا أن نكون متأكدين أن لا حياة على كوكب الزهرة.

غازات أخرى
نيتروجين
ثاني أكسيد الكبريت
ثاني أكسيد الكربون
بخار الماء

الشكل التوضيحي ١ – ٢: قد يكون لب كوكبٍ ما ساخنًا على نحوٍ كافٍ لإذابة الصخور. إن وصلت الصخور المصهورة إلى سطح الكوكب في الانفجارات البركانية، فقد تساعد الغازات التي تطلقها على تكوين غلاف جوي. إن مزيج الغازات المبيَّن في هذا الرسم البياني مأخوذ من قياس لانبعاثات بركان Kilauea في هاواي، تختلف أمزجة البراكين الأخرى، لكن المكونات الرئيسية تكون هي نفسها. ينضاف ثاني أكسيد الكبريت إلى قطرات المطر، تاركةً بخارَ الماءِ وثاني أكسيد الكربون والنيتروجين ليمثِّلوا المكونات الرئيسية للغلاف الجوي.

المريخ أكثر إثارةً للاهتمام من الزهرة من وجهة نظرٍ بيولوجيةٍ. فهو أصغر من الأرض، وأبعد من الشمس. لكنه كبير على نحو كافٍ لكي يحتفظ بغلاف جوي هزيل، مكوَّنًا على نحوٍ رئيسيٍّ من ثاني أكسيد الكربون. كوكب المريخ في العصر الحالي بارد وجاف وتذروه الرياح؛ فأحيانًا تغطي العواصف الترابية نصفَ الكوكب.

لا تستطيع مادة عضوية البقاء الآن على سطح المريخ. فلا يوجد ماء سائل، والتربة مؤكْسَدة بشدة. لكنْ حينما كان المريخ لا يزال حديثًا، وكانت تنطلق غازاتٌ بركانيةٌ بنشاطٍ من لبه الساخن، فربما كان للكوكب غلاف جوي أسمك ذو كميات كبيرة من بخار الماء. ربما كانت الشقوق والصدوع في القشرة الأرضية [لكوكب المريخ] لا تزال تحتوي على ثلج والذي كان يمكن أن يتحرر كماءٍ، لو سخَّنَتْ الاصطداماتُ الكبيرةُ صخور السطح بشدة وعمق كافٍ لصهرها، أو لو أدت تغيرات مناخية إلى صهرها لفترة وجيزة.

كان في المريخ ماءٌ على سطحه في الماضي البعيد. تشكلت الأودية والقنوات والسهول بفعل الفيضانات الهائلة، وتبدو معالم أخرى عليه مثل حواجز أو مرتفعات رملية عتيقة[1] وجزر وسواحل عتيقة. لقد تآكلت فوهات البراكين العتيقة _خاصة في سهول الأراضي المنخفضة_ بفعل المياه الجارية، وأحاطت بها وترسبت فيها صفائح الرواسب، مختزلةً إياها أحيانًا إلى حوافٍ باهتة غير واضحة تبرُز من السطح المسطَّح. رغم ذلك، فإن معظم خلاصة الأدلة يدل على أن المريخ كان دائمًا باردًا وجافًا، مع فيضانات مفاجئة سريعة أحدثتها الاصطدامات به. على الأرجح جفَّتْ الفيضاناتُ بالتبخر والارتشاح سريعًا، وربما لم تكن هناك محيطاتٌ قط.

كان المريخ أصغر من أن يحتفظ بنشاطٍ جيولُجيٍ لفترة طويلة. فحالما برد الكوكب، توقف نشاطه البركاني (الشكل التوضيحي ١ – ٣). لقد نُسِفَ غلافُه الجويُّ وماؤه وتبدد بفعل الاصطدامات، أو فُقِدَ بفعل التسرب البطيء إلى الفضاء، وبالتفاعلات الكيميائية مع الصخور والتربة. إن سطحه الآن قاحلٌ جافٌّ مُجمَّد، وعلى الأرجح قد كان كذلك منذ ثلاثة مليارات سنة. حتى لو أحدثت الاصطدامات بنيازكَ كبيرةٍ فيضاناتٍ، فما كانت ستستمر لفترةٍ طويلة كفايةً لدعم والإبقاء على الحياة.

هل كان على المريخ حياةٌ ذاتَ مرةٍ؟ في عام ١٩٩٦م، أبلغَ باحثون أنهم عثروا على بكتيريا متحجرة في نيزكٍ مصدره المريخ. (والذي تناثر إلى الفضاء قطعًا بفعل اصدام بكوكيب، وسقط بعضه على القبعات أو القلنسوات الثلجية المغطية لقمم الجبال في القارة القطبية الجنوبية بعدما قضى آلافَ السنواتِ في الفضاء). واقترح الباحثون أن تلك البكتيريا [المزعومة] كانت مريخية. حاليًّا انتُقِص من قيمة الدليل ليصير لا شيء: فالمواد لم تكن بكتيريا وهي ليست دليلًا على [وجود] الحياة [على المريخ في زمن قديم].

يقبع حزام الكويكبات خارج مدار المريخ. بعض الكويكبات كان لها تاريخ جيولُجي معقد، لكن ليس هناك شك في عدم وجود حياة في حزام الكويكبات الآن. لا كوكب أو قمر خارج مدار المريخ يمكنه الاحتفاظ بإشعاع شمسي كافٍ ليكوِّنَ ماءً سائلًا على سطحه لتوفير أساس الحياة. فالمركبات الهيدروكربونية المعقدة يمكن أن تتراكم وتبقى على الكويكبات، أو في الأغلفة الجوية الخاصة بالكواكب الخارجية [الخاصة بالمجموعة الشمسية] أو على بعض أقمارها، لكن تلك الأجرام قارسة البرودة وخالية من الحياة.

بالنظر إلى ما هو أبعد، فلا يوجد بالتأكيد دليل على وجود الحياة في أي مكان آخر في الكون. يعتقد روائي الخيال العلمي Brian Aldiss برين ألديس أن البحث الدؤوب عن مثل تلك الحياة الفضائية يعكس حنينًا مترسخًا بعمق في النفس البشرية لخرافة الغيلان.

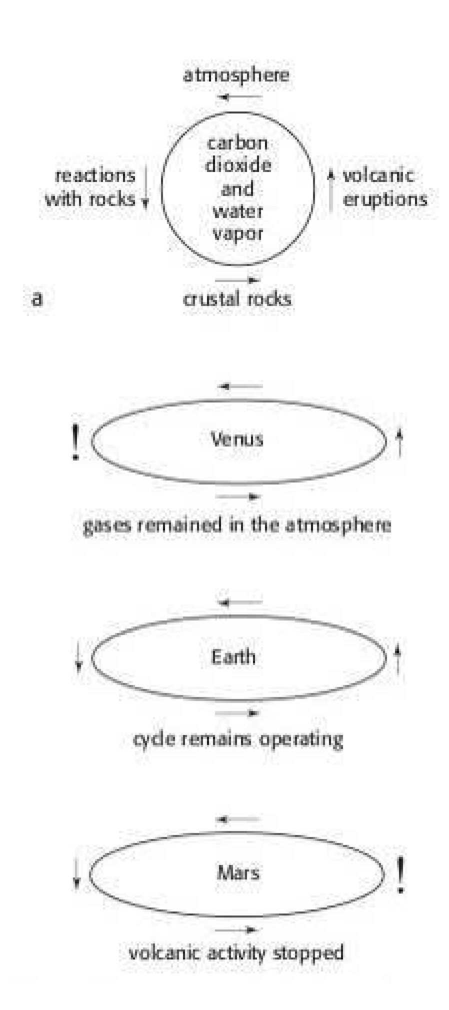
بالتالي نعود لنلتفت إلى الأرض، الموقع الوحيد المعروف لوجود الحياة. يمكننا أن نخمن أن الاصطدامات [بالكويكبات] والانفجارات البركانية أطلقت الغازات التي كونت غلافًا جويًّا سميكًا حول الأرض المبكرة، مكوَّنًا على نحوٍ رئيسيٍّ من ثاني أكسيد الكربون، مع كميات قليلة من النيتروجين وبخار الماء والغازات الكبريتية (الشكل التوضيحي ١– ٢). وبحلول ٤ مليارات سنة ماضية (٤٠٠٠ مليون سنة ماضية)، بل ربما أبكر في 4 ,4 مليار سنة ماضية، صار سطح كوكب الأرض باردًا على نحوٍ كافٍ لكي يكون له قشرة أرضية صلبة وماء سائل تراكَمَ فوقها، مكوِّنًا محيطاتٍ. ساعد ماءُ المحيطاتِ بدورِهِ على تفكيك [إذابة] ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وترسيبه في الصخور المكربَنة على قاع البحر. هذا امتص الكثير للغاية من ثاني أكسيد الكربون بحيث لم تطور الأرضُ سخونةً منفلتة بمثابة صوبة زجاجية كما فعل كوكب الزهرة (الشكل التوضيحي ١– ٣). على الأرجح غطت المحيطاتُ الضحلة الكبيرة معظمَ الأرضِ، مع القليل من حواف فوهات البراكين وبراكين بارزة كجُزُرٍ.

لقد دُمِّرَتْ كل الأدلة الجيولُجية تقريبًا من هذه الأزمنة المبكرة، خاصةً بفعل الاصطدامات الكارثية منذ 9 ,3 مليار سنة ماضية. يقام سيناريو الأرض الباردة المائية في التاريخ المبكر جدًّا من تاريخها على أساس الأدلة من القليل من بلورات الزِرْكُن التي تبقت كحبيبات معاد تدويرها في الصخور لاحقة التكوين. لكنْ لو كانت هناك حياة مبكرة على كوكب الأرض، فإنها كانت ستبيدها الكوارث الطبيعة في زمن 9 ,3 مليار سنة ماضية. لا يمكن أن يكون شكل أو أشكال الحياة التي كانت أسلافنا قد تطور وبقي حيًّا حتى ما بعد آخر اصطدام مبيد معقِّم للأرض من الحياة.

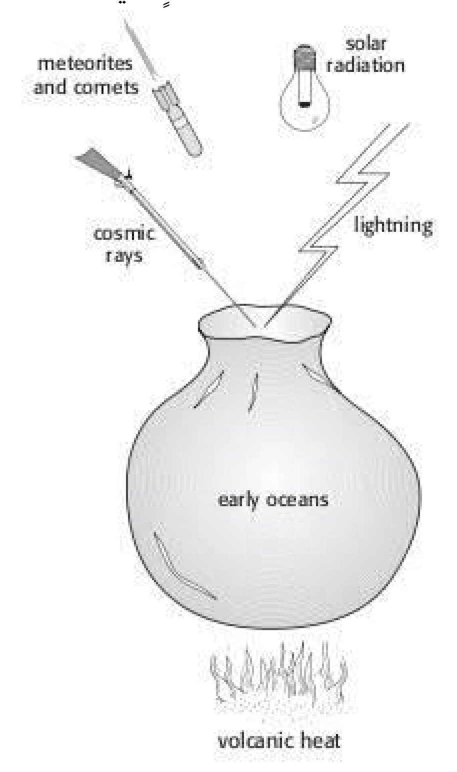
---

١ حيود أو تلال تراكمت رمالها قرب سطح ماء البحر وبالقرب من الشاطئ بواسطة تيارات فعل الموج في المياه الساحلية أو نتيجة تقدم البحر واحتوائه للكثبان الرملية الموجودة على مقربة من الشاطئ

رغم ذلك، فقد تكون اصطدامات صغيرة لاحقة قد شجعت على نشوء وتطور الحياة. فكل المذنبات والقليل من الأحجار النيزكية تحمل جزيئات عضوية، وقد تكون المذنبات على وجه الخصوص قد أوصلت بعضها إلى الأرض. لكن العمليات هنا على كوكب الأرض كوَّنَتْ أيضًا موادًا كيميائية عضوية. عملت الأشعة الشديدة الفوق البنفسجية من الشمس الحديثة على الغلاف الجوي للأرض لتكوّن كمياتٍ صغيرةً من غازاتٍ كثيرة جدًّا. معظم هذه [الغازات] تُذاب وتتفكك بسهولة في الماء، وتتساقط مع الأمطار، جاعلةً الماءَ على سطح الأرض غنيًّا بالمركبات الكربونية. تتضمن هذه الغازاتُ الأمونيا (NH3)، والميثان (CH4)، وأحادي أكسيد الكربون (CO)، والإيثان (CH3)، والفورمالُدهيد (CH2O) يمكن أن تكون قد تكونت، بمعدل ملايين الأطنان في السنة. تراكمت تدريجيًّا النترات في الماء بينما أُمْطِرَ أيضًا الضبابُ الكيميائي الضوئي وحمض نَيْتْرِك (HNO3) بفعل ضربات البرق. لكنْ لعل أهم مادة كيميائية من بينهم جميعًا كانت السَيَانَيدْ (HCN). فقد أمكنه التكون بسهولة في الغلاف الجوي العُلوي بفعل الأشعة الشمسية والاصطدامات بالنيازك، ثم تفكك [ذاب] في قطرات المطر. في عصرنا الحالي فإنه يتفكك على مرة واحدة بفعل الأكسُجِنْ، لكن في تاريخ الأرض المبكر كان يتراكم تدريجيًّا بتركيزات منخفضة في البحيرات والمحيطات. إن السَيانَيد وحدة بناء أساسية لبناء جزيئات عضوية أكثر تعقيدًا مثل الأحماض الأمينوية وقواعد الأحماض النووية. لقد نشأت وتطورت الحياة على الأرجح في ظروف كيميائية كانت لتقتلنا فورًا!



شكل توضيحي ١– ٣: اتخذ تطور الغلاف الجوي مساراتٍ مختلفةً تمامًا على كلٍ من الزهرة والأرض والمريخ. ففي الكوكب ذي المسار النموذجي المرمز له بالرمز (a) نجد تدوير الماء وثاني أكسيد الكربون على الصخور فالغلاف الجوي فالمحيط. هذا لا يزال يحدث على الأرض. أما المريخ فقد برُدَ سريعًا للغاية مما أوقف الدائرة لكون الغازات متجمدةً في قشرة أرضه. أما الزهرة فقد سخُنَ للغاية بحيث أن ثاني أكسيد الكربون فيه ظل باستمرارٍ في غلافه الجوي مما أوقف الدائرة بوجود غلاف جوي مفرط السخونة.



شكل توضيحي ١- ٤: صورة توضيحية تشبيهية لبعض مصادر الطاقة التي كانت متاحة لإمداد التفاعلات الكيميائية على الأرض المبكرة بالطاقة: البرق وأشعة الشمس والاصطدامات بالنيازك والمذنبَّات والأشعة الكونية وحرارة البراكين، وماء المحيطات كوعاءٍ. شكل توضيحي من تصميم المؤلف في طبعة ١٩٧٦م من هذا الكتاب.

الحياة توجد في خلايا

إن أبسط خلية حية في عصرنا الحالي معقدة جدًّا؛ فباعتبار كل شيء، لقد تطور أسلافها خلال مليارات الأجيال الكثيرة. يجب أن نحاول أن نزيل هذه التعقيدات بينما نتساءل عن الماهية التي ربما كانت عليها أول خلية حية وكيف عملت.

إن الشيء الحي له صفات عديدة: له بنية منظَّمة، وقدرةٍ على مكاثرة (نسخ) نفسه، ومعلومات مخزَّنة، وسلوك، وأيض (تمثيل غذائي). إن البلورات المعدنية لها أول صفتين دونًا عن آخر صفتين.

أولًا، الشيء الحي له حدٌّ (تُخْمٌ) يفصله عن البيئة. كما سنرى، فإن الشيء الحي يشغِّل تفاعلاته الكيميائية الخاصة به، ولو لم يكن له حد فإن هذه التفاعلات كانت ستكون غير قادرة على العمل؛ فقد كانت ستخفف وتُضْعَف بفعل المياه الخارجية أو تهدد بالتلوث بالمواد الخارجية. بالتالي فنحن نشير إلى "خلية" حية امتلكت نوعًا ما من غشاء الخلية أو جدار الخلية حولها.

ثانيًا، يجب أن تكون هناك تعليماتٌ تحدد البنية، والتوقيت، والمكونات للتفاعلات الكيميائية المستلزَمة لإحداث تنظيم الخلية والحفاظ عليه. في كل الخلايا الحية في عصرنا، فإن تلك المعلومات مشفرة في الأحماض النووية (RNA حمض نووي ريبوزي أحادي الجديلة أو DNA حمض نووي منزوع الأكسُجِنْ ثنائي الجديلة)، وتُحمَل التعليمات عبر الخلية من خلال الـRNA، وتُتَضمَّن البروتينات في معظم التفاعلات.

ثالثًا، يستطيع الكائن الحي النمو، ويستطيع نسخ نفسه، أي أنه يستطيع عمل بنية أخرى مماثلة له بالضبط. تتطلب كلا العمليتين كيمياء معقدة، والتي تتطلب بدورها غشاءً للخلية. يستعمل النمو والنسخ موادًا يجب أن تُجْلَب من الخارج، عبر جدار الخلية.

رابعًا، يتفاعل الكائن الحي مع بيئته بطريقة نشيطة؛ أيْ أنَّ له سلوكًا. إن أبسط سلوكٍ هو النشاط المُتَضمَّن في النمو والتكاثر: فالتدفق الكيميائي للمواد إلى داخل وخارج الخلية هو تفاعلٌ مع العالَم الخارجي والذي يمكن تشغيله أو إيقافه. سيغير التدفقُ الكيميائيُّ البيئةَ المحيطةَ، و _بالتأكيد_ فإن وجود أو غياب المواد الكيميائية المُتطَلَّبة سوف يحدِّد ما إذا كانت الخلية ستشغِّل التدفقَ أم لا. سوف تؤثر درجة الحرارة والظروف الخارجية الأخرى أيضًا على سلوك هذه الخلية الأكثر بساطةً.

خامسًا، يمثِّل النشاطُ الكيميائيُّ الخاص بالخلية تدفقًا للطاقة؛ ويدعى تدفق الطاقة بالتمثيل الغذائي [أو الأيْض، وهي عملية تحول المواد في الخلية إلى طاقة وحياة ونمو وتكاثر] في الأشياء الحية. يجب أن تدير الخليةُ تفاعلاتٍ تُركِّبُ جزيئاتٍ من مواد بوادر أبسط، أو تفكِّكُ جزيئاتٍ معقدةً إلى جزيئاتٍ أبسطَ. إن نمت أو تكاثرت خليةٌ، فإنها تبني جزيئاتٍ عضويةً معقدةً، وتحتاج تلك التفاعلاتُ طاقةً. يجب أن تحصل الخليةُ على الطاقة من الخارج، في شكل أشعة أو جزيئات "طعام" تستطيع أنْ تفكِّكَها.

إنه لهامٌّ تذكرُ أنَّ هذه السمات الخمسة لخلية حية ليست خمسة أشياء مختلفة؛ فهي كلها متداخلة [متضافرة]. إنها كلها متعلقة بعملية جمع ومعالجة الطاقة والمواد في مركبات كيميائية جديدة (أنسجة)، واستمرار هذه العمليات في خلايا جديدة. إن أيَّ نظريةٍ لنشوء وتطور الحياة _كنقيضٍ لخلق الحياة من قِبَلِ كائنٍ إلهيٍّ_ يجب أن تتضمن فترةً من الزمن طورت خلالها الجزيئات عديمة الحياة السماتِ المسرودة أعلاه وبذلك صارت حيةً. يُعبَّر عن ذلك بمصطلح التطور الكيميائي. ينبغي علينا أن نكون قادرين على أنْ نجادل بأن كل خطوة من هذه العملية يمكن على نحو معقول أن تكون قد حدثت على كوكب الأرض المبكر (أو في مكانٍ ما آخر) بطريقة طبيعية تلقائية. يسهل إدراك أنه مع وجود مركَّبات البدء الصحيحة، فإنه يمكن أن تنمو خلية أولية بدائية على نحوٍ فعال. نقطة التحول الحاسمة التي ستُعرِّف الحياةَ ستأتي عندما ينشأ النسخ "الدقيق".

حتى مع وجود آلة للسفر عبر الزمن [لدينا]، لكنا سنجد أنه يصعُب جدًّا تحديد أول شيء حي من وسط فوضى الفقاقيع أو البقع العضوية النامية التي لا بد أنها قد أحاطتْ بها. لكنَّ تلك الخلية استمرت حيةً وتكاثرت، "بدقة" مع ذلك، ومع مرور الزمن، بقِيَتْ الخلايا التي كانت أكثر كفاءةً وفاعلية حية ونسخت نفسها، بينما تلك التي كانت أقل كفاءةً ماتت أو نسخت نفسها على نحوٍ أبطأ. بالتالي ففي نفس الوقت الذي بزغت فيه الأشياء الحية، بزغت كذلك عمليتا الانتخاب الطبيعي والانقراض. ازدهرتْ بعضُ سلالاتِ الخلايا، بينما انقرضَتْ الأخرى. بالتأكيد، فإننا لا نرى أيَّ متحدِّرات حيةً اليوم لتلك الخلايا الأولى تكون لها نفس الآليات الوراثية الجينية والحيوية الكيميائية التي كانت تمتلكها أسلافُها؛ فإن لديها منذ زمن طويل ترقيات [تطويرات] كبيرة لبرمجتها الأصلية.

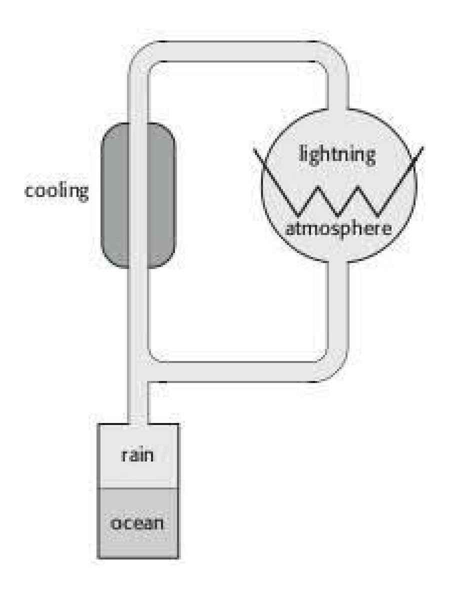
هذا يُدخِل [أو يقود إلى] مفهومًا آخرَ في بحثنا: التقدم أو التحسن. لا يوجد شكٌّ أن أبسط الخلايا الحية اليومَ أكثر كفاءةً من أسلافها البعيدة. تثور الجدالات حول الكلمة الصحيحة سياسيًّا لاستعمالها لوصف هذا. لقد استعملتُ كلمةَ "التحسن" في الإصدارات السابقة لأن كثيرًا من علماء الأحياء لديهم فوبيا من كلمة "تقدم" أو "ارتقاء". (فهناك معانٍ أخرى كثيرة لهذه الكلمة تترافق ذهنيًّا مع التكنولُجيا العسكرية والصناعية، فيما أظن). لكن حقيقة سجل المتحجرات أن هناك [فيها] أمثلة كثيرة على الأداء المُحسَّن الذي يمكن تقييمه ميكانيكيًّا. وهكذا فإن الأحصنة المعاصرة تجري على نحو أكثر كفاءةً بكثيرٍ، والحيتان الحية المعاصرة تسبح على نحو أكثر كفاءةً، والطيور الحية تطير على نحوٍ أكثرَ كفاءةً مما فعلَتْ أسلافُها. لا أعتقد أن المرء يمكن أن يشك أن نزعات مماثلة قد حدثت في الفِزيُلُجِي [وظائف الأعضاء أو العُضَيَّات] والكيماء الحيوية والتكاثر، وهلمَّ جرًّا، رغم أن هذا سيكون إثباتُه أكثرَ صعوبةً. لا أستطيع أن أفكر في كلمة أفضل تصف هذا أكثر من كلمة "تقدم" [أو "ترقِّي"].

نعود الآن إلى التجارب التي تساعدنا على رؤية الخطوات التي نشأت وتطورت بها الحياة من مواد كيميائية غير حية. في الفصل الثاني، سوف ننظر في سجل الصخور لنحاول العثور على أدلة على أبكر حياة على كوكب الأبكر. وتحديدًا، سوف نبحث عن أدلة على متحجرات ذوات بنيوات، وعن أي أثرٍ لسلوكها، أو الآثار الكيميائية لتفاعلات التمثيل الغذائي التي قامت بها.

صنع الجزيئات العضوية

إن ظروفًا [أو شروطًا] معيَّنةً ستكون ضروريةً لو أن الحياة نشأت من عدم الحياة (انظر المستطيل التلخيصي ١– ١). نُشِرَتْ أول تجربة تتضمن البعضَ منها في عام ١٩٥٣م من قِبَلِ Stanley Miller ستانلي مِلَرْ، الذي كان آنذاك طالبًا متخرجًا من جامعة شيكاجو. لقد مرَّرَ طاقةً (شراراتٍ كهربائية) عبرَ خليطٍ من الهيدرُجِن والأمونْيا والميثان محاولةً لمحاكاةِ الظروف المحتمَلة على كوكب الأرض المبكر (الشكل التوضيحي ١– ٥). صُرِفَتْ أي منتجاتٍ نتجت إلى دورقٍ مؤمَّن. من ضمن هذه المنتَجات، والتي تضمنت السيَانَيِد والفورمالدهيد، كانت الأحماض الأمينوية. كانت هذه النتيجةُ مذهلةً في ذلك الزمن لأن الأحماض الأمينوية ليست مركَّباتٍ بسيطةً. استعملت تجربةُ مِلَرْ مزيجًا بعيدَ الاحتمال حقًّا عن أن يكون غازات البدء، لكنها شجَّعَتْ تجاربَ أخرى كثيرةٍ حول نشأة الحياة، وبرهنت أن تلك التجارب ليست فقط علمًا مفيدًا بل وأنها مثيرة جدًّا ومجزية.

لقد برهنت الكثير من التجارب أن معظم الأحماض الأمينوية الموجودة في الخلايا الحية اليوم كان يمكن أن تتكوَّنَ على نحوٍ طبيعيٍّ على كوكب الأرض المبكر، من خلال وضمن مدى واسع متنوع من المكونات، وعبر مدى واسع متنوع من الظروف. إنها تتكون بسهلة من أمزجةٍ تحتوي على غازات الغلاف الجوي المبكر الخاص بكوكب الأرض. نفس الأحماض الأمينوية التي تتكون على أسهل نحوٍ في التجارب المعملية هي أيضًا الأكثر شيوعًا في الأشياء الحية اليوم. الشرط الرئيسي الوحيد هو أن الأحماض الأمينوية لا تتكون في وجود الأُكْسِجِن.



شكل ١– ٥: صُمِّمَت تجربةُ ستانلي مِلَرْ لمحاكاة الظروف على كوكب الأرض المبكر. غلافٌ جوي من الميثان والأمونيا والهيدروجين أُخْضِعَ لتفريغات برق، وبُرِّدَت وكُثِّفَت نتائج التفاعل، وأُمطِرت أو قُطِّرت لتتجمع في "محيط". تضمنت منتجات التفاعل أحماضًا أمينوية.

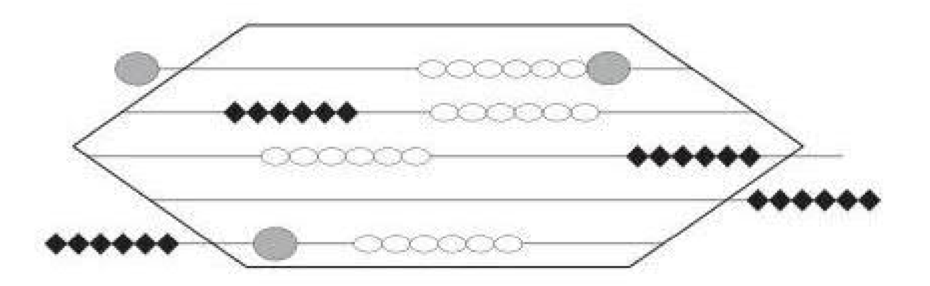
تتكون الأحماض الأمينوية بسهولة على أسطح جُسَيْمات الطين (الشكل التوضيحي ١– ٦). معادن الطين وفيرة في الطبيعة، ولها بنية بلورية خطية طويلة، وهي جيدة جدًّا في جذب وتكثيف المواد العضوية؛ إن حُبَيبات بلورات فرش تبول وتبرز القطط والكلاب cat litter هي طين ويعمل بنفس المبدإ.

إن الجزيئات العضوية توجد في المذنَّبات والنيازك. ومجدَّدًا، فإن الأكثر شيوعًا منها هي أيضًا الأكثر وفرةً في التجارب المعملية. توجد السكريات وقواعد الحمض النووي أيضًا في النيازك. بالتالي فإن كل هذه المركبات كانت يُمَدُّ بها كوكبُ الأرضِ المبكر بكميات. إننا لا نعلم كم المادة العضوية التي كانت قد أُمِدَّ بها من خلال التركيب الطبيعي على كوكب الأرض والكم الذي أُمِد به من خلال المذنبات والنيازك. بكِلا الطريقتين، فإن المواد اللازمة المناسبة وُفِّرَتْ على كوكب الأرض المبكر لحث تفاعلاتٍ أخرى.

إن ربط تسلسلات جزيئات الأحماض الأمينوية في سلاسلَ لتكوين جزيئات شبيهة بالبروتينات يتضمن فقد الماء، لذلك فقد قام العلماء بتجاربِ تبخيرٍ تحاكي العملية في ظل ظروف كوكب الأرض المبكر. تساعد درجات الحرارة العالية على التبخير، لكنها تتسبب في مشكلة أيضًا، لأن الجزيئات العضوية تميل إلى أن تتفكك إذا سُخِّنَتْ؛ فكلما ازداد طول الجزيء كان أكثر عرضةً للتلف. هنا مجددًا، تقدم المعادن الطبيعية بديلًا جذابًا.

إن للأحماض النووية (الـRNA والـDNA) بنيواتٍ مكوَّنة من قواعد الأحماض النووية والسكريات والفوسفات. يمكن صنع كل قواعد الحمض النووي الأربعة في التجارب المعملية المعقولة. تتكون السكريات في التجارب المحاكية لتدفق الماء من ينابيع ساخنة على طبقات طينية. تترافق معادن الفوسفات الموجودة طبيعيًّا مع النشاط البركاني. بالتالي فإن كل مكونات الأحماض الأمينوية كانت موجودة على كوكب الأرض المبكر، ووقود الخلية ATP (ثلاثي فوسفات الأدينوسين) كان يمكن أن يتكون أيضًا بسهولة.

إن عملية ربط السكريات والفوسفاتيات وقواعد الحمض الأمينوي لتكوين شظايا أو أجزاء من الحمض الأمينوي والتي تُدعى نيوكليوتيدات هي أيضًا عملية نزع ماء، ويمكن أن تعمل الفوسفاتيات نفسها كمحفزات هنا. تتكون النيوكليوتيدات الطويلة على نحو أسهل بكثير على الأسطح الفوسفاتية أو الطينية أكثر مما تفعل في تعلقها في الماء (الشكل التوضيحي ١– ٦).



الشكل التوضيحي ١– ٦: لمعادن الطين أسطح طويلة مستقيمة شقية. يمكن للجزيئات العضوية الخطية أن تصطف على طول الشقوق، حاثةً تفاعلاتٍ تكوّن جزيئاتٍ عضويةً طويلة السلاسل مثل الأحماض الأمينوية والأحماض النووية.

التلخيص التوضيحي ١– ١: الظروف أو الشروط الضرورية للتطور الكيميائي باتجاه الحياة:

الطاقة: الطاقة مستلزَمة لتكوين جزيئات عضوية معقَّدة مع عدم وجود حياة، بالنظر إلى وجود بوادر كيميائية بسيطة بادئة. لقد استعملت بعض المعامل تفريغاتٍ كهربيةً لمحاكاة البرق على كوكب الأرض المبكر؛ واستعملت معامل أخرى جسيمات عالية الطاقة من مسارع مداري للبروتونات (سَيْكْلوتْرُون) بدلًا من النشاط الإشعاعي المنبعث من الصخور والأشعة الكونية، والحرارة كبديل للنشاط البركاني، وموجات صادمة أو أشعة ليزر كبديل للاصطدامات بالنيازك، ومصابيح كبديل للأشعة الشمسية فوق البنفسجية (انظر الشكل التوضيحي ١– ٤). كل هذه المصادر للطاقة كانت موجودة على كوكب الأرض المبكر.

الوقاية: إدخال [إمداد] الطاقة المستمر (خاصةً الحرارة) سيدمر أي جزيئات عضوية معقدة تتكون في تفاعلاتٍ، بالتالي فبعد أن تتكون فإنها يجب أن تُحمَى سريعًا من الأشعة القوية. كثيرًا ما تُصمَّم التجارب المعملية بحيث تسمح للجزيئات العضوية بالسقوط في ماء بارد بعيد عن مصدر الطاقة. على كوكب الأرض المبكر، قد تكون الجزيئات قد وُقِيَتْ تحت الماء الضحل، في البرك المحمية من المد والجزر، أو في صدوع الصخر، أو تحت الصخور، أو الثلج، أو جسيمات الرواسب.

التركيز: تجري كل التفاعلات الكيميائية على نحو أفضل في التركيزات العالية، أما التفاعلات المؤدية باتجاه الحياة كلها تقريبًا فتعطي نتائج منخفضة في المعمل. تقوم الحياة على الماء، إلا أن كثيرًا أكثر من اللزوم من الماء يخفف المواد الكيميائية بحيث تتفاعل ببطء. ينبغي أن يكون لبعض العملية مواد كيميائية مركَّزة على كوكب الأرض المبكر. التبخير هو أبسط سبيل، لكن هناك سبل أخرى مثل الامتصاص في الأسطح الطينية.

التحفيز: تحتوي المحولات المحفِّزة في أنظمة غازات عوادم السيارات على بلاتِين كمادة محفِّزة تحث على تفكيك الملوثات. تُدعَى أي مادة عضوية تعمل كمحفز إنزيمًا. كل التفاعلات داخل خلايانا وأجسادنا تدعمها الإنزيمات، والتي هي ضرورية حتى في أبسط خلية حية ممكنة. قد تكون المحفزات الملائمة قد حثت تفاعلاتٍ مختلفةً على كوكب الأرض المبكر، حتى مع وجود مستويات طاقة منخفضة وتركيزات منخفضة [للمواد]. لاحقًا، سوف تدعمُ آخرَ الخطواتِ المؤدية باتجاه الحياة محفِّزاتٌ يُحتفَ بها على أغشية [للخلية] أو بداخل الأغشية.

باتجاه أول خلية حية

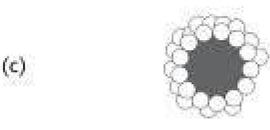
ربما كانت الجزيئات العضوية الأساسية التي تكوِّن أغشيةَ الخلية ومحتويات الخلية موجودةً بكمياتٍ معقولة في محيطات كوكب الأرض المبكر. مع ذلك يتوجب علينا أن نشرح كيف تطورت إلى خلية تستطيع مكاثرةَ نفسِها.

يفصل الغشاءُ الخليةَ عن البيئة المحيطة. الكثير من الأغشية العضوية مصنوعة من صُفَيْحاتِ جزيئاتٍ تُدعَى الليبيدات. إن جزيء الليبيد له طرفٌ يجتذب الماءَ وطرفٌ آخرُ يطرد الماءَ (الصورة ١– ٧أ). تصطف الليبيداتُ على نحوٍ طبيعي بحيث تكون رؤوسها وذيولها مقابلة لبعضها الآخر باتجاهاتٍ عكس بعضها؛ ولذلك تقاوم وترفض صفيحة جزيئات الليبيدات الماء (الصورة ١– ٧ب). إن صادف وانثنت صفيحة ليبيدات حول نفسها ليتلاقى طرفاها، فإنها ستكوِّن غشاءً مانعًا للماء حول أيِّ ما تكون عليه المحتويات التي حبسها. تتكون تلك الحِزَم _التي تُدعَى بالليبوسومات liposomes_ تلقائيًّا في أمزجة الليبيدات.

إنها كرات [أو جسيمات كروية] بسيطة مع غشاء خارجي من الليبيدات (الصورة ١– ٧ج). إنها تشابه بيضة تنتج الليبوسومات بينما يحيط بها زَبَدُ المحُّ [صفار البيضة].

(a)

(b)



الصورة ١ – ٧: (أ) البنية المؤيِّنة [الاستقطابية] لجزيء لبيبد تصد الماء عند أحد طرفيها الذي على شكل دائرة وتجتذبه عند طرفها الآخر. هذا يمكِّن الليبيدات من تكوين إما: (ب) صفيحات وزَبَد صاد للماء، أو (ج) أوعية كروية مانعة للماء (ليبوسومات).

اكتشف David Deamer (انظر Zimmer ١٩٩٥م) أنه يمكن أن تتكون الليبوسومات من جزيئاتٍ كانت موجودة على الأرض المبكرة؛ وهي الأحماض الدهنية والجليسرول [الجلسرين] والفوسفاتيات. لاحقًا وجَدَ جزيئات أحماض دهنية في أحجار النيازك، وصنع كُرَيَّاتٍ منها بتجفيفها ثم إعادة ترطيبها. وعندما أضاف DNA [حمضًا نوويًّا مزدوج الجديلة منزوع الأكسجين] إلى المحلول الأصلي، كان أحيانًا يُحبَس داخل الليبوسومات بينما هي تتشكل، مركَّزةً أحيانًا إلى مئة ضعف. وجد فريق بحث Jack Szostak (انظر Szostak et al.,2001) أن كريات الأحماض الدهنية تتشكل أسرعَ بمئةِ مرةٍ مقارنةً بالعادي لو أضيف الطين إلى المخاليط.

هذا يدل على أن تكون الليبوسومات التي لها محتويات شبيهة بالخلية ربما لم يكن صعبًا على كوكب الأرض المبكر. فقد كان يمكن أن تتكون بأعدادٍ كبيرة بينما تضرب الأمواجُ هنا وهناك طبقاتِ الليبيدات حول أسطح الماء، أو بينما يُكْسَح زَبَدُ الليبيد على شاطئ موحل مع وجود طينٍ في الماء. هذه العملية كان يمكن لها أن تنتج ليبوسوماتٍ ذوات محتويات متنوعة للغاية (فبعضها بها أحماض أمينية، أو أشكال بدائية من الحمض النووي، وما شابه). الليبيدات "الأفضل" كانت ستكون التي تُشغِّل تفاعلاتٍ كيميائيةً أكثر فاعليةً بكثيرٍ من "الأسوإ" [أو الأردإ].

تتفاعل المواد الكيميائية أسرعَ وأكثرَ فاعليةً لو رُكِّزَتْ. توجد أربع آليات للتركيز كان يمكن أن تحدث على نحو طبيعي: التبخير والتجمد والتركز في الزَبَد والقُطَيْرات والفقاقيع، والتركز على أسطح الحبيبات المعدنية.

"الجينات العارية" في عالم خاص بالـ RNA

في الخلايا الحية في العصر الحالي، فإن كل بروتين مشفَّر على تسلسلات طويلة للحمض النووي. إن التسلسلات الطويلة للـDNA التي تحدِّد بنيواتِ هذه البروتينات هي نفسها يصعُب نسخُها، ويتطلب نسخُها الكثير من البروتينات لتعمل كإنزيمات لتحفِّز التفاعلاتِ. إن تركيب البروتين ونسخ الحمض النووي DNA متداخلان مترابطان في الخلايا في العصر الحالي؛ فهما يعتمدان على بعضهما البعض، رغم أنهما يستعملان طرقًا كيميائية مختلفة جدًّا وعلى الأرجح فقد نشأ وتطور كلٌّ منهما على نحوٍ مستقلٍّ. كيف يمكن أن تكون هاتان العمليتان قد بدأتا مستقلتين، ثم تطورتا بحيث تعتمدان على بعضهما البعض؟

تكمُنُ الإجابةُ في أبسط حمض نووي، وهو الـRNA. تُدعَى بعضُ تسلسلات الـRNA بالريبوزيمات ribozymes والتي تستطيع العمل كإنزيمات وتصنع RNA أكثرَ حتى عندما لا توجد بروتيناتٌ. تُسرِّعُ تسلسلاتُ RNA أخرى من تركيب البروتينات. ربما كانت أول أشياء حية هي قطع من الـRNA، ريبوزيمات حُبِسَتْ داخل اللَيْبُوسُومات، وصادف أن الريبوزيمات كان لها البنية الملائمة لكي تعمل كإنزيماتٍ ساعدت الـRNA على نسخ نفسه. نظريًّا، فقد كانت تستطيع ريبوزيمات الـRNA على كوكب الأرض المبكر أن تنسخ نفسها بدون بروتينات، ببطء وبغير دقة، وبالتالي يمكن اعتبارها أنها كانت حية. تُدعَى الريبوزيمات أحيانًا بـ"الجينات العارية"، لكنْ في الحقيقة فإنها كانت بداخل ليبوسومات، كما وُصِف أعلاه.

الريبوزيمات التي كان لها بالصدفة RNA يشفِّر إنزيماتٍ بروتينيةً كانت ستنسخ نفسها أسرعَ من الريبوزيماتُ الأخرى. كانت بتزايدٍ ستتغلب الريبوزيماتُ الناجحةُ في التنافس سريعًا جدًّا على كل الريبوزيماتُ الأخرى لتصبح أسلافَ كل [أشكال] الحياة اللاحقة على كوكب الأرض؛ وسأدعوها من الآن فصاعدًا في هذا الكتاب بالخلايا الأولية [أو البدائية، الأولى]. إن السيناريو الذي يبدأ مع الريبوزيمات في عالم خاص بالـRNA هو حاليًّا أفضل فرضية حول نشأة وأصل الحياة على كوكب الأرض.

إن الـRNA أبسط من الـDNA، ويُرجَّحُ أنه نشأ وتطور قبل الـDNA. لكنْ لقد صُنِعَتْ أنواعٌ من الأحماض النووية أبسطُ من الـRNA في المعامل، رغم أنها لا تستعملها اليومَ خلايا حيةٌ. إنها تقدم تلميحاتٍ إلى أن أول الأشياء الحية قد تكون قد تطورت حتى قبل عالم الـRNA. إن الجزيئات المسمَّاة PNA و TNA تُستعمَل حاليًّا في التجارب لمعرفة ما إذا كان يمكن أن تكون قد شكَّلَت الأساس للشيء الحي. يتكون الـPNA بسهولة أكثر في التجارب حول كوكب الأرض المبكر أكثرَ مما يفعل الـRNA. في عام ٢٠٠٢م، صُنِعَ DNA في المعمل من الـTNA.

حتى الشفرة الجينية الأولى ربما قد كانت أبسط من الخاصة بالعصر الحالي؛ فقد أثبتت تجاربُ في عام ٢٠٠٢م أن الريبوزيمات تستطيع مكاثرةَ نفسها حتى لو كان لديها قاعدتا حمض نووي فقط، بدلًا من الأربعة الموجودة في الـRNA في العصر الحاليّ.

أين نشأت الحياة؟

لقد اقتُرِحَتْ العديد من الأماكن المختلفة على أنها البيئة التي بدأت [نشأت] فيها الحياة (انظر المستطيل التلخيصي التوضيحي ١– ٢). رغم ذلك، فإن بعضها أقل احتماليةً من الأخرى. فأسطح التربة ما كانت لِتجتذبَ كميةً من المواد العضوية التي كانت ستكون متاحةً في الماء. أما الفضاء بين النجوم والغلاف الجوي فهما جافّان للغاية.

تقترح معظم النظريات عن نشأة الحياة أماكن الأسطح في البحيرات أو الأهوار [البحيرات الضحلة] أو المحيطات أو شواطئهن. لكنْ لا يُرجَّحُ أن الحياة نشأت في البحر. فالجزيئات العضوية المعقدة عرضةٌ للتلف بسبب الصوديم والكلور [الملح المؤيَّن] في ماء البحر. الأكثر ترجيحًا بالتالي أن الحياة نشأت في البحيرات، أو أهوار شواطئ البحار التي كانت مُمَدَّة على نحوٍ جيدٍ بالماء النهريّ. لقد اعتدنا على تصور الأهوار على أنها استوائية [مدارية]؛ إن اسمها نفسه يستحضر في أذهاننا الماء الأزرق والنخل. تشجع درجاتُ الحرارة الدافئة التفاعلاتِ الكيماويةَ، وكانت جزيرةٌ ما استوائية مبكرة ستكون على الأرجح بركانيةً وبالتالي ميالة لأن تكون بها معادنُ مهمة. لكنَّ قواعدَ الـRNA تكوُن غيرَ مستقرةٍ بتزايدٍ حينما ترتفع الحرارة فوق ٠° درجة مئوية؛ فيُرجَّحُ أن درجة حرارة الماء المداريّ العاديّ (٢٥° درجة مئوية) أدفأ من أنْ يمكن أنْ تكون قد كانت مَنْشَأَ الحياةِ.

بالتالي ربما كانت الجزر البركانية الباردة أفضلَ بيئاتٍ داعمةً للتفاعلات العضوية على كوكب الأرض المبكر. في المعمل، تحدث تفاعلات السَيَانَيِد والفورمالدهيد بسهولةٍ في الأمزجة النصف متجمدة. كثيرًا ما تُسبِّبُ انفجاراتُ البراكينِ عواصفَ برقيةً، بالتالي فإن الانفجارات والبرق والأوحال الطرية ودرجات الحرارةِ القريبة من التجمد (الجليد ورقائق الثلج وحبات البَرَد الصلبة) كان يمكن أن تكون كلها موجودةً على شاطئِ جزيرة بركانية باردة.

لاحظْ أنه لو كانت هذه البيئةُ هي الصحيحة، لكان سيتوجب أنه قد كانت هناك يابسةٌ وماء عندما نشأت الحياةُ؛ فالماء العذْبُ يمكن أن يوجَد فقط على الأرض إذا كانت منفصلة فيزيائيًّا عن المحيط.

إن الأشعة الشمسية أو الظواهر الجوية هي مصادر طاقة محتمَلة للتفاعلات المؤدية باتجاه الحياة. لكنْ عميقًا في المحيطات يكمُن في سلاسل الجبال بوسط المحيطات صدوعٌ بركانية تحت الماء حيث يتمزق قاع البحر مشكِّلًا قشرة أرضية جديدة للمحيط. تُطلَق كمياتٌ ضخمة من الحرارة في هذه العملية، معظمها عبر الماء الساخن المنصرف على قيعان الصدوع، وتزدهر أعداد لا تُحصى من البكتيريا في الماء الساخن. ربما لم تنشأ الحياة في أيّ مكانٍ قربَ السطحِ، بل عميقًا في أسفله، عند فتحات البراكين.

لقد تضمنت تجاربُ المعامل أن الأحماض الأمينوية وجزيئات هامة أخرى يمكن أن تتشكل في تلك الظروف، بما فيه حتى ربط جزيئات شبيهة بالبروتينات، وحاليًّا فرضية عمق البحر ذات شعبية. لكن لو كانت الحياة قد تطورت عن طريق الجينات العارية، فبالتالي فإنها لم تفعل ذلك في الينابيع الساخنة. فالـRNA والـDNA غير مستقرين عند تلك الدرجات الحرارية العالية. لم يكن يمكن للجينات العارية أنْ توجد (لوقت طويل) في الينابيع الساخنة.
إن فرضية عمق البحر _رغم أنها تبدو غير مرجَّحة بالنسبة لي_ أدت إلى تخمينٍ بأن الحياة يمكن أن تكون قد نشأت عميقًا تحت طبقات سطح كوكب آخر أو قمر. (كمثال، قمر كوكب المشترى يوروبا على الأرجح به ماء تحت قشرته الجليدية). ساعد هذا التخمينُ على ضخ المال لمشاريع مجسات الكواكب الخاصة بوكالة ناسا. لكن الطاقة الداخلية لتلك الكواكب والأقمار منخفضة جدًّا، والتفاعلات تحت الماء أو العضوية أقل احتمالية بكثير أن تعمل عميقًا تحت القشرة الجليدية لقمر يوروبا مما هي عليه في محيطات كوكب الأرض. على أية حالٍ، فإن المحيطات تحت الثلوج الخاصة بالأقمار المغطاة بالجليد مالحة (حسبما استُبْيِنَتْ). لذلك فإن نشأة الحياة في تلك البيئات أمر غير محتمَلٍ للغاية.

تُنتِجُ التجاربُ الجديدةُ موادًا كيميائيةً عضوية في ظروف تحاكي تشكُّل الثلوج على حبيبات التراب في فراغٍ متجمد شبه فارغٍ خاوٍ؛ بعبارةٍ أخرى: على المذنَّبات. رغم ما قيل، فإن الثلوج يجب أن تذوب لتصير ماءً يصلح كقاعدة مائية كيميائية لكي يقوم بتفاعلات أخرى بعدُ. قد تنشئ العملياتُ في الفضاءِ موادًا كيميائية وتوصلها إلى الكواكب، لكن إذا كان الكوكب مضيافًا ملائمًا، فإن الظروف الملائمة لإنشاء الجزيئات العضوية والحياة موجودة بالفعل على ذلك الكوكب.

جدول ١- ٢ الأماكن المحتمَلة لنشأة الحياة

- البحيرات أو الأهوار
- الجزر البركانية الجليدية
- التربة
- الغلاف الجوي العلوي
- الفضاء
- صدوع عمق البحر

مصادر الطاقة للحياة الأولى

لقد أدركنا أن الأشياء الحية تستعمل الطاقةَ. يتألف الكثير من علم الأحياء [البيولُجِي] من دراسة التمثيل الغذائي [الأيض] وعلم الإيكولُجِي [دراسة علاقة الكائنات الحية مع بعضها البعض في البيئة وعلاقتها بالبيئة وطرق اعتياشها]؛ أيْ دراسة الطرق التي تكتسب بها الكائناتُ الحيةُ وتستعمل الطاقةَ التي تحتاجها للنمو والتكاثر.

تطورت الخلايا الأقدم على الأرجح في بيئة مائية احتوت على كميات كبيرة من الجزيئات العضوية المكوَّنة على نحو طبيعي تلقائي. بالتالي فقد كان لدى الخلايا البدائية طاقة متاحة لها في شكل ثلاثي فوسفات الأدينوسين ATP والأحماض الأمينوية ومركبات عضوية أخرى استطاعت امتصاصَها من الماء. هذه المركَّبات كانت تتراكم منذ وقتٍ طويلٍ، وكلها بها طاقة كيميائية مخزَّنة فيها، خاصةً في الروابط بين ذرات الهيدروجين والكربون. لو كان لدى الخلايا البدائية الإنزيماتُ التي تكسر هذه الروابط، فإن تلك الجزيئات كانت ستقدم وفرة من الوقود لنمو الخلية وانتساخها. لكنْ عندما تصير الخلايا البدائية أكثر وفرةً [تعدادًا] وأكثر فاعليةً في اجتذاب واستعمال الجزيئات العضوية، فلا بد أنه قد جاء وقتٌ فاق الطلبُ فيه الإمدادَ. وبينما تصير الجزيئات العضوية البسيطة أندر فأندر، واجهتْ الخلايا البدائية أول أزمة طاقة في العالَم. على نحوٍ مفارق، فهذا حدث لأول مرة في البيئات التي كانت الخلايا البدائية فيها أكثر نجاحًا ووفرةً [غزارةً]. لا يزال يمكن رؤية ردي فعل مختلفين جدًّا على عجز "الطعام" بين الكائنات المتعضية الحية حاليًّا بعد حوالي ٤ مليارات سنة لاحقًا [منذ ذلك العصر].

تحصل الكائنات الحية المتعضية على الطاقة بطريقتين: التغذية بمصادر خارجية محتوية على الكربون العضوي heterotrophy والتغذية الذاتية autotrophy. تحصل الكائنات المتغذية من المصادر الخارجية على طاقتها الأيضية بتفكيك الجزيئات العضوية التي تمتصها من البيئة؛ فالطيور الطنانة ترتشف الرحيقَ والبشر يأكلون حلوى كعك الدونات [كمثال]. لا تدفع الكائنات المتغذية من المصادر الخارجية تكلفة بناء الجزيئات العضوية، بل عليها فقط أن تشغِّلَ التفاعلاتِ التي تفككها؛ لكن يتوجب عليها أن تعيش في بيئة توجد بها جزيئاتُ "طعامٍ". أما الكائنات الذاتية التغذية فلا تحتاج جزيئاتِ طعامٍ من الخارج؛ فهي تصنعها داخل الخلية، وتدفع نمطيًّا تكلفةَ بناء الجزيئات بامتصاص الطاقة من الخارج. وبما أنها بعد ذلك تفكك مجدَّدًا الجزيئاتِ لأجْلِ النموِ والتكاثر، فإنها يجب أن تعمَلَ في بيئةٍ تعطيها طاقةً خارجيةً.

هل كانت الخلايا الأولى متغذية من الخارج أم ذاتية التغذية؟ يستطيع المرءُ أن يجادل لصالح كلا الادعائين. أيهما كان صوابًا، فإن التغذي الذاتي والتغذي من الخارج لا بد أنهما قد كانا تحسنات مبكرة للغاية. إني أجادل بأن التغذي من المصادر الخارجية نشأ أولًا. فالخلايا الذاتية التغذية يجب أن تكون قادرةً على تفكيك الجزيئات التي تبنيها، وهي تفعل ذلك باستعمال نفس التفاعلات الكيميائية الحيوية العالَمية العامة التي تستعملها الخلايا المتغذية من مصادر خارجية. إنه لأسهلُ أن يُجادَل بأن الكائنات المتغذية من المصادر الخارجية أضافت البناء الضوئي [التمثيل الضوئي] من أن يجادَل بأن الخلايا الأولى طورت [تطور فيها] التركيب [أو البناء] الضوئي وتفاعلات التفكيك الخاصة بالتغذي من المصادر الخارجية في نفس الوقت.

التغذي من المصادر الخارجية والتخمير

لقد استعملت الخلايا المتغذية من الخارج الأولى بطبيعة الحال أبسطَ تفاعلاتٍ ممكنة لتفكيك الجزيئات العضوية. ألا وهي تفاعلات التخمر، والتي تفكك فيها الخلايا السكرياتِ كالجلوكوز. كثيرًا ما يُدعَى الجلوكوز بلقب الوقود الخلوي العالَمي للكائنات المتعضِّية [ذوات الأعضاء أو العُضَيَّات] الحية، وعلى الأرجح أنه كان أكثر السكريات المتاحة وفرةً على كوكب الأرض المبكر. ويستعمل اليومَ البشرُ الكائناتِ المتعضية المجهرية لإنتاج الجعة (البيرة) والجبن والخل والنبيذ والشاي والزبادي (اللبنة) واللبن الرائب، كما تفكك الكائنات المتعضية المجهرية المخمّرة الكثير من أقذار بالوعاتنا.

حالما استنفدَتْ الكائناتُ المتعضية المجهرية أسهلَ الجزيئاتِ تفكيكًا، صار هناك تنافسٌ شديدٌ محتدِمٌ فيما بينها على تفكيك الجزيئات الأكثر صعوبةً. يستطيع المرءُ تصورَ أفضليةٍ هائلةٍ للخلايا التي استطاعت تفكيك جزيء لم يكن متاحًا للخلايا الأخرى. سرعان ما نشَأتْ وتطورت مجموعةٌ كاملةٌ من تفاعلات التخمير. هذا بدوره زاد من أزمة الطاقة، لأن الكائنات المتعضية كانت في البدء مقيَّدة بالجزيئات التي تكونت على نحو طبيعي في الغلاف الجوي والمحيط.

التغذي الذاتي Autotrophy: التغذي على المواد الغير عضوية (كالحديد والكبريت من خلال أكسدتها بالمؤكسِدات الغير عضوية) Lithotrophy وعملية البناء الضوئي

تُوَلِّدُ الكائناتُ طاقتَها الخاصةَ بها، لكنها تقوم بذلك بطريقتين مختلفتين تمامًا. فقد تستخلص الطاقة الكيميائية من جزيئات غير عضوية وهو الـ(lithotrophy) [التغذي على المواد الغير عضوية]، أو قد تكتسب الطاقةَ بحبس الأشعة الضوئية (عملية البناء الضوئي).

يمكن أن يحدث التغذي على المواد الغير عضوية عندما ينتزِعُ كائنٌ متعضٍّ مجهريٍّ جزيءَ أُكْسُجِنْ من مركَّبٍ غيرِ عضويٍّ وينقله إلى آخر، صانعًا ربَح طاقةٍ في العملية. ثم تُستعمَل هذه الطاقةُ في بناء جزيئات الغذاء العضوي. كمثال، فإن الكائنات المتعضية المجهرية المسمّاة methanogens [أو البكتيريا مُطلِقاتُ الميثان (المعروف بغاز المستنقَعات) من خلال ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين، وتعيش في بيئة منقوصة مختزَلة خالية من الأُكْسُجِن] تكتسب الطاقةَ من خلال عملية التغذي على المواد الغير عضوية بتفكيك ثاني أكسيد الكربون ونقل الأكسُجِنْ إلى الهيدروجين، صانعةً ماءً وغازَ ميثانٍ كمنتجاتٍ ثانويةٍ.

$4H_2 + CO_2 \text{---}> CH_4 + 2H_2O +$ طاقة

البكتيريا مطلقات الميثان تختلف عن البكتيريا الحقيقية بقدر اختلاف البكتيريا عنا، وهي جزء من مجموعة خاصة من الكائنات المتعضية المجهرية، تُعرَف بالعتيقات Archaea. وبما أن ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين كانا متاحين في المحيط المبكر، فإنه لمعقولٌ أن يُقترَحَ أن هذا التفاعل كان يمكن أن تشغِّلَه الخلايا المبكرة جدًّا. في الواقع، بناءً على صفاتها الجينية الجزيئية، فإن العتيقات كانت ضمن أوائل الأشياء الحية على كوكب الأرض.

إن كانت هذه القدرةُ نشأت مبكرًا، فقد تكون قد كانت أول مرة (وليس آخرها) تعدِّل الأشياءُ الحيةُ كيمياءَ ومناخَ الأرض. فباستبدال غاز ثاني أكسيد الكربون المحدث لتأثر الصوبة الزجاجية بغاز الميثان المحدث لتأثير أكبر للصوبة الزجاجية [حبس الحرارة]، فلعل نشاط البكتيريا مولِّدات الميثان قد أدفأَتْ كوكبَ الأرضِ المبكر (انظر الفصل الثاني).

إن عملية البناء الضوئي بسيطة كمفهوم، لكنها من جهة الكيمياء الحيوية أعقد من التغذي على المواد الغير عضوية. بعض الجزيئات تستطيع امتصاص الضوء وتخزينه كطاقة في بنيتها. إن الكائن المتعضي المجهري الذي صادف أن امتلك مثل تلك الجزيئات استطاع أن يحبس الطاقة الضوئية ويستعملها لبناء جزيئات الطعام كالسكريات.

تستعمل الأشياء الحيةُ البورفيرينات (الفرفرينات) باعتبارها أهم جزيئات حابسة للضوء، ويمكن أن تكون قد تكونت من مواد أبسط على كوكب الأرض المبكر. صبغات الكلورفيلات (اليخضورات) بأنواعها العديدة هي البورفيرينات الأوسع استعمالًا من قِبَلِ الكائنات المتعضة الحية لإمساك الضوء؛ ثم مع تفاعلات كيميائية حيوية معقدة نشأت وتطورت لإطلاق واستعمال الطاقة.

أحدثَ نشوءُ عمليةِ البناء الضوئي تغييرات بيئة كبيرة على كوكب الأرض. فمباشرةً، اسْتُعْمِلَتْ الطاقة التي حبسها الكلوروفل لبناء مواد بيولوجية (كتل أو أجرام حيوية) أكثر. من ثم صار للخلايا القائمة بالبناء الضوئي مخزنٌ للطاقة، خزين احتياطيّ كحاجز صدٍّ لمواجهة أوقات الإمداد القليل بالطعام، والذي أمكن استعماله حسب الحاجة. إنه يسهل فهم كيف أن تلك الخلايا صارت تعتمد بالكامل تقريبًا على عملية البناء الضوئي للحصول على الطاقة؛ فهي لم تحتَجْ إلى التنافس مباشرةً للغاية مع المتغذيات على المصادر الخارجية العضوية. ففي الكثير من الأماكن، يكون ضوء الشمس مصدرَ طاقةٍ أثرى وأكثر قابلية للاعتماد عليه من المواد العضوية التي يجب البحث عنها والإمساك بها (أو التقاطها). بالتالي، فعندما ماتت الكائنات القائمة بعملية البناء الضوئي وأُطْلِقَتْ محتوياتها الخلوية في الطبيعة، فإنها بلا وعيٍ قدَّمت مصدرًا جديدًا للتغذية للكائنات المتغذية على المصادر الخارجية العضوية. زادت عمليةُ البناءِ الضوئيِّ دراميًّا [على نحو مفاجئ وكبير] تدفقَ الطاقةِ عبْرَ الأنظمة الحيوية [البيولوجية] على كوكب الأرض، ولأول مرة صارت كميات كبيرة من الطاقة تُنقَل من كائن متعضٍ إلى آخرَ، في أول نظام بيئي حقيقي على كوكب الأرض.

لقد استعملت أقدم الخلايا القائمة بالتمثيل الضوئي على الأرجح جزيء الهيدروجين H2 أو H2S. كمثال، التفاعل:

H2S+ CO2+ ضوء ---> CH2O + 2S

مُطلِقًا الكبريتَ في البيئة كمنتَجٍ ثانويٍّ لعملية البناء الضوئي. لاحقًا بدأت بعضُ البكتيريا في تفكيك روابط الهيدروجين القوية من جزيء الماء. قد تكون هذه الخطوة كانت في البدء تصرفًا بسبب الحاجة الشديدة في بيئة فقيرة بالكبريت، لكنَّ البكتيريا التي فككت بنجاحٍ H2O بدلًا من H2S، كالمعادلة التالية:

H2O+ CO2+ ضوء ---> CH2O + 2O

اكتسبت مباشرةً نوالًا لمصدر أكثر وفرةً بكثير. رغم ذلك، فقد كانت هناك غرامة. فإن الفضلات المنتَجَة الخاصة بعملية البناء الضوئي باستعمال H2S هي الكبريت (S)، والذي يَسهُل التخلُّص منه. أما الفضلات المُنتَجة الناتجة عن عملية البناء الضوئي باستعمال الماء H2O فهي أُكْسُجِنْ جذريّ، أُكْسُجِنْ أحاديّ الذرة (O)، والذي هو سم مميت للخلية لأنه يمكِنُه تفكيك الجزيئات العضوية الحيوية بأكسدتها. حتى بالنسبة للبشر، فإنه لَخَطِرٌ أن يُتنفَّسَ الأكْسُجِن الصافي الأحادي أو الهواء الملوَّث بالأوزون لفتراتٍ طويلة.

احتاجت الخلايا ترياقًا [مضادًا للسم] طبيعيًا لهذا الأكْسُجِنْ السام قبل أن تتمكن من تشغيل عملية البناء الضوئي الجديدة باستمرار. لقد كانت طحالب السيانوبكتيريا [طحالب خضراء مزرقة] هي الكائنات المتعضية التي قامت بأول إنجاز فائق في عملية التركيب الضوئي منتِج الأكْسُجِنْ باستعمال الماء. لقد استعملَتْ إنزيمًا مضادًا للأكسدة قويًا يُدعَى superoxide dismutase لمنع الأكسُجِن الأحادي من تدميرها. أساسيًا، فإن الإنزيم ركَّبَ الأكسجِن الأحاديَّ الحرَّ O إلى O2 أقل خطورةً والذي أُخْرِجَ خارجَ جدار الخلية إلى البيئة.

من ذلك الحين فما بعده، نستطيع تصورَ مجتمعاتٍ مبكرةً من كلٍّ من المتغذيات ذاتيًا والمتغذيات على المصادر العضوية الكربونية، والتي طورت طرقًا مُحسَّنةً لجمع أو صنع جزيئات الغذاء.

تحتاج الكائناتُ القائمة بالتركيب الضوئي إلى مواد مغذية كالفسفور والنيتروجين لتبني خلاياها، بالإضافة إلى الضوء وثاني أكسيد الكربون CO2. في معظم الأماكن، يتغير ويتنوع الإمدادُ الغذائيُّ مع الفصول حسبما تتغير الرياح والتيارات خلال السنة. تتنوع [كثافة وقوة] الضوء أيضًا مع الفصول، خاصةً في مناطق خطوط العرض العالية. وبما أن الضوء مُتطلَّبٌ لعملية البناء الضوئي، فقد بدأت مع عملية البناء الضوئي تقلباتٌ موسمية كبيرة في الإنتاجية الأولية الخاصة بالعالم الطبيعي. لا تزال الدورات الموسمية تحكم عالمَنا الحديث، سواء بين الكائنات الحية البرية وفي الزراعة وعمليات صيد السمك.

نستطيع أن نتصور عالمًا به ميزانية طاقة حيوية [بيولوجية] كبيرة ومستعمرات كبيرة من الكائنات المتعضية المجهرية؛ وهي العتيقات Archaea، والبكتيريا القائمة بالبناء الضوئي، والبكتيريا المتغذية على المصادر الخارجية العضوية. بالتالي فإن هناك على الأقل احتمالًا لأن يجد بعضُ علماء المتحجرات والحياة القديمة paleontologists أدلة على حياة قديمة مبكرة جدًا على شكل متحجرات في سِجِل الصخور. في الفصل الثاني، سننظر إلى علم الجيولُجي والصخور والمتحجرات، بدلًا من الاعتماد على الجدالات المعقولة لكنها تخمينية حول التاريخ والحياة المبكرين لكوكب الأرض.

الفصل الثاني

أقدم أشكال الحياة على كوكب الأرض

عندما نترك علم الفلك والمعمل ونلتفت إلى كوكب الأرض نفسه بحثًا عن أدلة حول أشكال الحياة المبكرة، فإننا نبحث عن المتحجرات. إن المتحجرة هي بقايا كائن متعضٍّ محفوظة في السجل الجيولُجيّ. هناك ثلاثة أنواعٍ من المتحجرات؛ متحجرات الأجساد، ومتحجرات الآثار، والمتحجرات الكيميائية. إننا نعرف [أو نألَف] متحجراتِ الأجسادِ أكثرَ، والتي فيها يُحفَظ جزء من أو كل كائن متعضّ. إن كان لكائن متعضٍّ أجزاء جسدية مصنوعة من مواد مقاوِمة (كمثالٍ، الأصداف أو العظام أو الخشب)، فإن احتمالية حفظه في السجل الجيولُجي أكثرُ بكثيرٍ من كائن حي ذي جسد لَيِّنٍ. قد تبدو مثل تلك المتحجراتُ غيرَ متغيّرةٍ تقريبًا بعد موتها. قد تتبلور المعادنُ الخاصة بماء القاع لتملأ الشقوق والفتحات والفجوات في المادة الأصلية، لذلك فقد تكون متحجرات الأجساد أكثف وأصلب مما كانت عليه في حيواتها. أحيانًا قد تُستبدَل الصدفةُ أو العظمةُ الأصليةُ بمعدنٍ آخر، جاعًلا التعرف على المتحجرة أو استخراجها من الصخور أسهل (الصورة ٢– ١).

على نحوٍ واضحٍ، فإن احتمالية حفظ الأجزاء الصلبة لكائنٍ متعضّ أكبر من الأجزاء الأكثر هشاشةً أو طراوةً. لكنْ أحيانًا قد تترك الأجزاء اللينة انطباعًا على الرواسب الطرية قبل أن تتعفَّن. وعلى نحوٍ أكثرَ نُدرةً، قد يُغلَّف كائن متعضٍّ كامل في الرُسابة الطرية التي تتصلَّبُ لاحقًا إلى صخر. لقد حُفِظَتْ بعضُ النحلات والنمل والذباب والضفادع كمتحجراتٍ في الكهرمان (الراتنج أو المادة الصمغية المتحجرة الخاصة بالأشجار، الصورة ٢–٢)، وتوجد خلايا مُفرَدة حُفِظَتْ في الصخر الصُوَّانيِّ [أو الشرت chert]، وهو صخرٌ مكوَّنٌ من هُلام السليكا الذي انتُقِعَتْ فيه الخلايا واحتفظت بأشكالها بالثلاثة أبعادٍ.

أما متحجرةِ الأثر فهي ليست جزءًا من كائنٍ متعضٍّ على الإطلاق، بل صنعها كائنٌ متعضٌ ولذلك فقد تخبرنا بشيءٍ عن ذلك الكائن. قد تكوُن متحجراتُ الآثارِ علاماتٍ تركتها الكائنات المتعضية النشِطة (آثار الأقدام، آثار المشي [أو الزحف أو الحركة]، الجحور، الصورة ٢– ٣)، أو كتل برازية، أو حتى شبكة عنكبوتٍ (الصورة ٢– ٤). قد تعطينا متحجراتُ الآثارِ بصيرةً [أو فهمًا عميقًا] للسلوك الذي ما كان ليكونَ متاحًا من خلال متحجرات الأجساد (كمثال، رغم أن عظام الديناصورات تقترح أن بعضها قد يكون استطاع الجري، فإن متحجرات الآثار الخاصة بآثار أقدام الديناصورات تخبرنا أن بعضها قد جرى يقينيًّا [بالتأكيد]. (انظر الفصل ١٢).



Figure 2.1 A brachiopod whose original calcite shell was replaced by silica. This made it fairly easy to dissolve the shell out of limestone for study.



Figure 2.2 A frog preserved in amber. The frog is almost undamaged externally, though internally it has broken bones. It was probably seized by a predator (a hawk or an owl?) and carried to a tree where it was covered in resin and preserved in this spectacular fashion. (© George Poinar, University of California, Berkeley.)

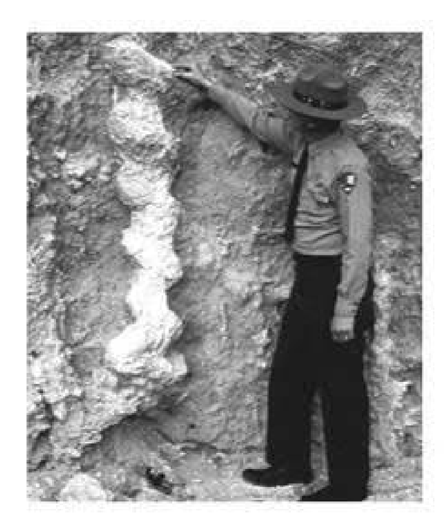


Figure 2.3 Trace fossils like these were made in Nebraska during the Miocene by (large!) burrowing rodents, which occasionally left their bones at the bottom. The National Park Service provided the photograph and the ranger for scale.



Figure 2.4 Spider silk that was preserved in amber for about 130 million years (from the Lower Cretaceous of Lebanon). The droplets of insect-trapping glue along the silk are like those produced today by araneoid spiders, so altogether this trace fossil tells us a lot about its maker. Scale bar 0.5 millimeters. This and other images were published in Zschokke (2003). (Courtesy of Samuel Zschokke, University of Basel. © Samuel Zschokke).

صورة ٢- ١ أحد عضديات القدم [أو المسرجيات وهي شعبة أوْ طائفة حيوانية غير فقارية بحرية صدفية الهيكل، مداها الجيولوجي من العصر الكامبري حتى العصر الحاضر. وَتحتوي على مصراعين (غطائين) صدفيين غير متساويين ولكنهما متماثلان جانبياً ومكونان عادة من مادة كلسية.] والذي استُبْدِلت صدفتُه المكوَّنة من الكالسيت أيْ: كربونات الكالسيوم البلورية بالسِلِكا [ثاني أُكسيد السِلِكُن]. هذا جعل استخراجَ الصدفة من الحجر الجيري لدراستها سهلًا تمامًا.

صورة ٢- ٢: ضفدع محفوظ في الكهرمان. الضفدع سليم غير متضرر خارجيًّا تقريبًا، رغم أن لديه عظامًا مكسورة خارجيًّا. لقد اصطاده على الأرجح مفترسٌ ما (ربما صقر أو بومة) وحمله إلى شجرة حيث غُطِّيَ بالراتنج [صمغ شجري] فحُفِظ على هذا النحو الرائع المشهدي.

صورة ٢- ٣: متحجرات الآثار كهؤلاء صنعتها في نبراسكا خلال عصر المَيُوسين [الحديث الوسيط قبل ٢٥- ٥ ملايين سنة] قوارض ضخمة ناقبة [حافرة، صانعة] للجحور، والتي حُفِظَت لنا أحيانًا عظامَها في القاع أو السفح بالأسفل. وفرت خدمات الحديقة القومية [ناشيونال بارك] الصورة مع الحارس لأجل معرفة مقياس الصورة الأصلي.

صورة ٢- ٤: خيط عنكبوت حُفِظَ في الكهرمان لحوالي ١٣٠ مليون عام ماضٍ (من العصر الطباشيري الأدنى في لبنان الحالية). إن قطيرات الصمغ المصطاد للحشرات على طول الخيط مماثل للخيوط التي تنتجها في عصرنا الحالي العناكب [من من رتبة العنكبيات (of Araneida or Araneae araneoid، وتتسم بعدم وجود أثر للتقسيم عند البطن وتتصل بمنطقة الصدر والبطن من خلال "وسط أو خصر"]. بالتالي تخبرنا متحجرة الأثر هذه بالكثير بالفعل عن صانعها. نُشِرت هذه الصورة مع صور أخرى في (Zschokke 2003)، بتفضلٍ وإذن من Samuel Zschokke, University of Basel

أما المتحجرات الكيميائية فهي مركبات أنتجتها كائناتٌ متعضية والتي حُفِظَتْ في سجل الصخور. قد تكون جزيئاتٍ كانت في الأصل جزءًا من الكائن المتعضي، أو جزيئاتٍ كانت تُنتَج في العمليات الأيضية [الخاصة بالتمثيل الغذائي] التي كان يقوم بها الكائنُ المتعضي. وقد تقدِّم معلوماتٍ عن الكائنات المتعضية التي أنتجَتْها. في الحالات الخاصة حينما يختار كائنٌ متعضٍ نظيرًا مشعًّا لذرة بدلًا من آخرَ، فإنه يمكن استعمال المتحجرات الكيميائية الخاصة بهذه النظائر المشعة لتوفير معلوماتٍ أيضًا، كما هو موضَّحٌ في مقطعٍ لاحقٍ في هذا الفصل.

كل أنواع العوامل قد تُدمِّر أو تُتلِف الكائنات المتعضية بما يفوق إمكانيةَ التعرف عليها قبل أن يمكن لها أن تتحجر أو أثناء كونها متحجرة. بعد الموت، فإن الأجزاء الطرية من الكائنات المتعضية قد تتعفن أو تؤكَل. وأي أجزاء صلبة قد يحللها ويذيبها الماء أو تُكسَّر أو تحطمها وتبعثرها الحيوانات القمَّامة [آكلة الجيف والفضلات] أو العاصف أو الفيضانات أو الرياح أو التجمد. يجب أن تُدفَن البقايا لتصير جزءًا من صخرة، لكن المتحجرة قد تُشدَخ أو تُحطَّم وتُسحَق بينما هي تُدفَن. بعد الدفن، قد تحلل مياهُ القاعِ الراشحة عبر الرُسابةِ [الرواسب] العظامَ والأصداف. إن تحركات الأرض قد تشوه معالم أو تحطم المتحجراتِ بما يفوق إمكانيةَ التعرفِ عليها أو قد تسخنها للغاية. حتى لو نجت متحجرةٌ وانكشفت آخرَ الأمرِ على سطح الأرض، فإنه غير مرجَّحٍ جدًّا أن يُعثَر عليها وتُجمَع قبل أنْ تُدمَّرَ بفعل التجوية (أثر العوامل الجوية) والتعرية [التآكل].

وحتى عندما تُدرَس بعنايةٍ، فإن المتحجرات عينةٌ منحرفة جدًّا لأشكال الحياة القديمة. فالمتحجرات يُرجَّح أكثرَ بكثيرٍ أنْ تُحفَظَ في قاع البحر مما [تُحفَظُ] على اليابسة. وحتى على اليابسة، فإن الحيوانات والنباتات التي تعيش أو تموت بجوار نهر أو بحيرة يُرجَّح أنْ تُحفظَ أكثرَ من التي تموت على الجبال أو في الصحارى. للأجزاء المختلفة من الهيكل العظمي فرص مختلفة لأن تُحفَظ. فكمثال، أسنان الحيوانات أكثر شيوعًا بكثير في السجل الأحفوري من عظام الذيول والأصابع. الأسنان عادةً هي الجزء الوحيد الذي يتحجر من أسماك القرش [لكونها أسماكًا غضروفية_م]. المتحجرات الكبيرة تكون عادةً أصلب من المتحجرات الصغيرة وتُرى بسهولة أكثر في الصخر. يُرجَّح أكثرَ بكثيرٍ أن تُجمَعَ المتحجرات المثيرة من التي تبدو عاديةً ظاهريًّا. وحتى لو جَمَعَ عالمُ متحجراتٍ متخصص متحجرةً وأرسلها إلى خبيرٍ لفحصها، فإنها قد لا تُدرَس أبدًا. كل المتاحف الكبيرة في العالم بها صناديق متحجرات تقبع غيرَ مفتوحةٍ في الدور التحتي أو العِلِيَّة.

عندما ننظر إلى الأمثلة المعروضة في متحف، فسيبدو أننا سيكون لدينا فكرة جيدة عن تاريخ الحياة. لكن معظم الكائنات الحية التي كانت تعيش في أي زمن معيَّنٍ لا توجد [نماذج منها] في المتحف. فقد كانت مجهرية أو لينة الأجساد أو كليهما، أو كانت نادرة، أو هشة ولم تُحفَظ، أو أنها لم تُكتَشَفْ. ليس لدينا أدلة كافية لنجمع قصة كاملة [عن تاريخ أشكال الحياة وتطورها_م]. لكن تلك القصة تتغير دائمًا كلما اكتشفنا متحجرات جديدة وكلما نظرنا بتملٍّ أكثر للمتحجرات التي عثرنا عليها من قبل.

كيف نعرف عمرَ متحجرةٍ؟

توجد المتحجرات في الصخور، وعادةً يحاول علماء الجيولُجي [علم طبقات الأرض] تعيين وإثبات عمر الصخر المحتوي أو طبقة الصخر التي ليست بعيدة تحت أو فوق المتحجرة (والتي بالتالي قد تكون قريبة لها في العمر). يُقاس عمر الصخور بطريقتين مختلفتين، تُعرفان بالتأريخ النسبي والمُطلَق.

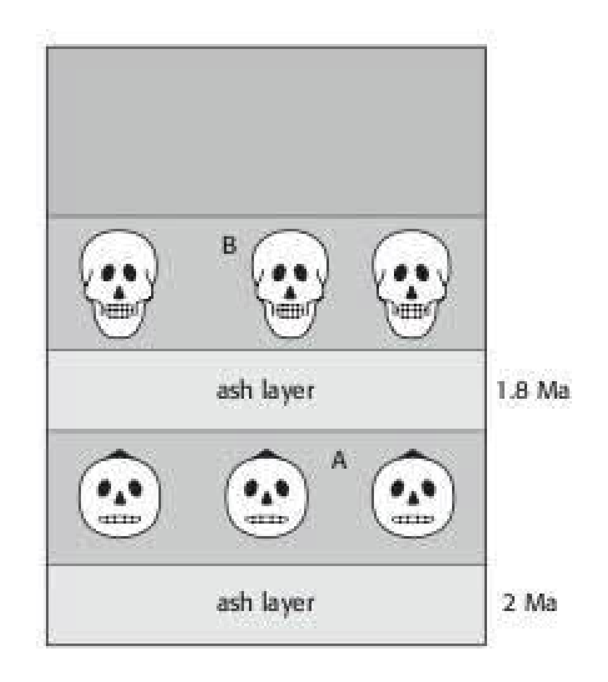
يمكن أن يصلُحَ تأريخ الصخور فقط لو حدد المرءُ مكوناتِ الصخور التي تتغير عبر الزمن، أو المميّزة على نحوٍ ما للزمن الذي تشكَّلَتْ فيه الصخور. نفس المبادئ تُستعمَل في تأريخ الأشياء الأثرية. قد تحمل العملاتُ تاريخًا بالسنوات (تأريخ مطلَق أو كامل)، ويستطيع المرءُ أنْ يكون متأكدًا من أن قطعة من المجوهرات تحتوي على عملة ذهبية لا يمكن أن تكون قد صُنِعَتْ قبل التاريخ المصكوك على العملة المعدنية. إن عمر مقالب القمامة يمكن تقديره من خلال نوع الأوعية الملقاة فيها؛ مثل الزجاجات ذات الأشكال والأغطية المتنوعة، والعلب الفولاذية والمصنوعة من الألومونيوم، وهلم جرًّا. كثيرًا ما يمكن تحديد عمر صور قديمة أو أفلام أو رسوم من خلال نمط الملابس أو تسريحات الشعر الخاصة بالناس أو السيارات الظاهرة فيها.

يمكن تحديد الأعمار الجيولُجية المُطلَقة لأن البلورات المعدنية المتشكلة حديثًا تحتوي أحيانًا على ذرات نشطة إشعاعيًّا غير مستقرة. تتحلل النظائر المشعة بمعدَّلٍ لا يمكن لأي عامل فيزيائي أو كيميائي معروف أن يغيره، وحينما تفعل ذلك فإنها تتغير إلى عناصر أخرى. كمثال، يتحلل البوتاسيوم ٤٠ (^{40}K) ليكَوِّنَ الأرجون ٤٠ (^{40}Ar). بقياس كم التحلل الإشعاعي في بلورة، يستطيع المرءُ حسابَ الزمن منذ كانت قد تشكلت حديثًا، تمامًا كما يقرأ المرءُ التاريخَ على عملة معدنية. إن المبدأ بسيط، رغم أن التقنياتِ كثيرًا ما تكون مقتضيةً جهدًا. كمثال، فإن البوتاسيوم ٤٠ يتحلل ليُكَوِّنَ الأرجون ٤٠ بمعدل بحيث يكون قد انتهى نصفه [نصف البوتاسيوم] خلال حوالي 3 ,1 مليار سنة. فإن نَقِسْ بلورةَ فلسبارِ بوتاسيوم [أو فلدسبار وهي صخرة محتوية على معادن تتكون من سِلِكات الألومونيوم ومواد أخر] في العصر الحالي، ونجد أن نصف الكم الأصلي للبوتاسيوم ٤٠ قد انتهى، فبالتالي يكون عمر البلورة ١٣٠٠ مليون سنة أو [ما يساوي] 3 ,1 مليار سنة، حيث يُعبَّر عن الفترات الزمنية بملايين السنين وتُسمى في الإنجليزية بميجا سنين (megayears (m.y، بينما تسمى الأحقاب ذات مليارات السنوات بجيجا سنوات (gigayears (Ga. وتستعمل وسائل تأريخ أخرى نفسَ هذا المبدإ.

يجب أنْ يقام بالتأريخ المُطلَق [أو المحدَّد] بعناية. فقد تكون البلورات قد أعيد تسخينُها أو حتى أعيدَتْ بلوَرَتُها، معادًا ضبطُ ساعاتِها الإشعاعية إلى الصفر تمامًا بعد الزمن الذي تكونت فيه الصخرة في الأصل. أيضًا فإن التغير الكيميائي الخاص بالصخر قد يكون قد أزال عنصرًا ما مُنتَجًا حديثًا، مما يعطي تاريخًا أحدثَ من العمر الصحيح. إن علماء الجيولُجِي معتادون على هذه المشاكل، ويخوضون مشقة هائلة للعثور على واستعمال بلورات محتفظة بنقائها.

معظم العناصر المستعمَلة في تأريخ العمر الإشعاعي لا تستعملها الكائنات الحية لبناء أصدافها أو عظامها، لذلك فإننا عادةً لا نستطيع تأريخ المتحجراتِ مباشرةً. بدلًا من ذلك، نحتاج أن نقيس عمرَ طبقةِ تدفقِ حممٍ بركانية (لافا) أو طبقة رماد بركاني أقرب ما يمكن إلى الطبقة الحاملة للمتحجرة (الصورة التوضيحية ٢– ٥)، والتي تحتوي بالفعل على بلورات نستطيع استعمالَها.

يتعامل علماء المتحجرات وأشكال الحياة القديمة paleontologists أغلب الأحيان مع مقياس زمني نسبي، يقول وفقًا لـه المرءُ: "المتحجرة أ أقدم من المتحجرة ب" (الصورة التوضيحية ٢– ٥) بدون تحديد العمر بالسنوات المُطْلَقة. هذا مشابه جدًّا للطريقة التي يؤرخ بها علماءُ الآثارِ مصنوعاتِ المصريين القدماء. نحن نعلم أي فرعونٍ تلا أيهم، حتى لو أننا لا نعرف العصور المحدَّدة للكثير من الأسر الحاكمة الأبكر. لذلك فإن التاريخ المصري القديم يُقاس [يُدرَّج] وفقًا لعهود حكم فراعنة مُعيَّنين، بدلًا من أن تُسجَّلَ بسنواتٍ محدَّدةٍ مُطلَقة. يمكننا أن نعمل بهذه الطريقة مع المتحجرات، وذلك لأنها حقيقة قائمة على الملاحظة أن المتحجرات المحفوظة في السجل الصخري في زمن معيَّن تختلف دائمًا تقريبًا عن المحفوظة في زمن آخر. لقد برهن على هذه الحقائقِ خلال القرنين الماضيين علماءُ الجيولُجِي [علم طبقات الأرض] العاملون باتجاه الأعلى والأسفل في تسلسلات الصخور التي وُضِعَت فيها الرواسبُ في طبقاتٍ متعاقبة، كل طبقة توضَع في الأعلى [فوق ما سبقها] وبالتالي فهي أحدث من الطبقة التي تحتها. مع كل دراسة، حُدِّدَ تسلسلُ [أو تعاقبُ] المتحجراتِ الخاص بجزءٍ صغيرٍ من الزمن الجيولُجِيّ، على نحو مشابه للغاية لتحديد علماء الآثار للأحداث المتعاقِبة في عهد حكم كل فرعون.



الشكل التوضيحي ٢- ٥: جماجم هذين النوعين من متحجرات البشْرانيين hominids [الفصائل البشرية من الرتبة الفرعية البشر: أسلاف جنسنا البشري وأقاربهم ذوي الصفات البشرية والشبيهة بالبشرية] لا تحتوي على أية نظائر مشعة، لكنها تقبع بالقرب من طبقتَيْ رمادٍ بركانيَّ واللتين تحتويان على نظائر مشعة. باستعمال وسائل التأريخ النسبي يستطيع المرء الحكمَ بأن النوع البشراني أ أقدم من النوع البشراني ب. وباستعمال وسائل التأريخ المُطلَق [أو المُحدَّد] يمكن تحديد عمر البَشْراني أ بإحكام فيما بين 8 ,1 و ٢ مليون سنة ماضية لأن هناك طبقات رماد بركاني مؤرَّخة فوقه وتحت. أما كل ما نعرفه عن العمر المَطلَق للبشراني ب فهو أنه أحدث من 8 ,1 مليون سنة ماضية.

مع التحقق من آن إلى آخر من خلال وسائل التأريخ المطلَق، نُظِّمَ السجل الجيولُجِيِّ في تسلسل معياري؛ وهو التدريج أو المقياس الزمني الجيولُجيّ (الشكل ٢- ٦). يُقسَّم المقياسُ الزمنيُّ إلى تسلسل هرمي من الوحدات لسهولة الإحالة إليها، مع كون التقسيمات الخاصة بالوحدات الكبرى تتوافق في الأغلب مع التغيرات الهامة في أشكال الحياة على كوكب الأرض. إن أسماء الدهور والأحقاب والعصور والفترات كثيرًا ما تكون غريبة غير مألوفة [لغير المتخصصين] ولها جذور تاريخية عجيبة. كمثال، فالعصر البِرْميّ سُمِّيَ كذلكَ بعدما قام السير Sir Roderick Murchison والكومت [الكونت] Comte d’Archiac برحلة على عربة ركاب في روسيا في عام ١٨٤١م، واكتشفا صخورًا جديدة غير مألوفة قربَ مدينة Perm بِرْمْ. رغم ذلك، فبعد فترة لم تعُدْ الأسماءُ وتسلسلها مادة للحفظ المتطلب جهدًا بل صارت مفتاحًا وأساسًا لمجموعة مفعمة بالحيوية من صور أشكال الحياة القديمة.

تقسيمات الزمن بدأ منذ (مليون عام ماضٍ)

دهر الحياة الحديثة	الرباعي: الهولوسين (الحديث والحاضر) البِلَيْسْتوسين (الحديث الأقرب) الفترة الجيولُجية الثالثة: البليوسين (الحديث القريب) الميوسين (الحديث الوسيط) الأُلِجوسين (الحديث اللاحق) الإيوسين (فجر الحديث) الباليوسين (الحديث الأقدم)	 ٠, ٠١ ١, ٨ ٥ ٢٤ ٣٤ ٥٥ ٦٥
دهر الحياة الوسطى	الطباشيري الجوارسي الثلاثي	١٤٤ ٢٠٦ ٢٥٠
دهر الحياة القديمة	البِرْمِي الكربوني	٢٩٠ ٣٥٤

	الديڤوني	٤١٧
	السيلوري	٤٤٣
	الأُرْدُوُڤيشي	٤٩٠
	الكامبري	٥٤٣
ما قبل الكامبري	دهر طلائع الحياة	٢٥٠٠
	الدهر السحيق	٣٨٠٠
	عمر الأرض	٤٥٥٠

المقياس الزمني النسبي الذي يستعمله علماء الجيولُجِي، مُبسَّطاً على أساس الجدول الذي تستعمله الجمعية الجيولُجية لأمِركا. إني لم أصنف التقسيمات الزمنية العديدة وفقًا لمراتبها الرسمية من آماد وحقب ودهور وعصور وفترات. فبالنسبة للأغراض الحالية فإن التعاقب والتواريخ المطلَقة التقريبة هي ما يهم. وللمزيد من التفاصيل راجع موسوعة الويكيبديا عنوان: مقياس زمني جيولوجي.

قبل ٤٥٦٥ مليون سنة نشأة القمر

قبل ٤٠٠٠ مليون سنة بدء ظهور كائنات ميكروبية

قبل ٣٥٠٠ مليون سنة بدء التمثيل الضوئي في كائنات ميكروبية بدائيات النوى

قبل ٢٣٠٠ مليون سنة توفر الأكسجين، أول تجلد للأرض

قبل نحو ٢٠٠٠ مليون سنة ظهور حقيقيات النوى

قبل نحو ١٥٠٠ مليون سنة ظهور متعددات الخلايا

قبل نحو ٧٥٠ – ٦٣٠ مليون سنة التجلد الثاني للأرض

قبل ٥٣٠ مليون سنة الانفجار الكمبري وتعدد صور الحياء في المياه

قبل ٣٦٠ مليون سنة ظهور البرمائيات والحيوانات البرية الفقارية ، والنباتات البرية

قبل ٢٣٠ – ٦٥ مليون سنة ظهور الديناصورات، والثدييات، انقراض الديناصورات قبل ٦٥ مليون سنة)

قبل نحو ٢ مليون سنة ظهور نوع الإنسان (البشرانيين والبشريين: أجداد الإنسان الحديث وأقاربهم التطوريين)

الحياة غيَّرَتْ كوكبَ الأرضِ

لزمن طويل للغاية، تصور علماءُ المتحجراتِ paleontologists أشكال الحياة على أنها مجموعة من الرُكَّاب على كوكبٍ له جيولُجِي وكيمياء ومناخ معيَّن. وأن التطور حدث ضمن تلك الحياة عندما تفاعل كائنٌ مع آخر، أو استجابةً للبيئة المادية الفيزيقية. لكننا نعلم الآن أن العمليات الحيوية [البيولُجية] أثَّرت على كوكب الأرض على نحو درامي، في تفاعل متبادل ذي أنماط معقَّدة. لا يستطيع المرءُ دراسةَ أي عنصر أساسي مكوّن خاص بنظام كوكب الأرض وحدَه منفردًا، لأن التفاعل [مع العناصر الأخرى] هام للغاية. هذا يجعل دراسة الحياة صعبة على علماء كوكب الأرض، لكننا نبذل أقصى جهودنا المتواضعة.

كمثال، فإن حقيقة أن الغلاف الجوي للأرض به ٢١% أُكْسُجِنْ تعكس الإنتاج المستمر للأُكْسُجِنْ من قِبَلِ الكائنات القائمة بالبناء الضوئي على اليابسة وفي المياه السطحية. بدون الحياة، لما كان سيمكن أن يوجد الأكْسُجِنْ بنسبة أكثر من بضعة أجزاء من المليون. وكيميائيًّا، فإن الـ ٢١% أكسجن يوفر O_2 كافيًا لتكوين طبقة أوزون O_3 في الغلاف الجوي الأعلى، مساعدًا على وقاية السطح من الأشعة فوق البنفسجية. وفيزيائيًّا، فإن الـ ٢١% أكسُجِنْ أثَّرَ على كيمياء ماء البحر (فما كان الحديد ليذوب فيه لولا ذلك، كمثال)، وهو يؤثِّر على التفاعلات التي تتفكك بها الصخور على السطح (سطح الأرض) وتتحول إلى رواسب. (تُصنَع سياراتنا من معدن الحديد الذي أكسدَه أكسُجِنْ الهواء منذ مليارَي سنة ماضية أو أكثر). استُخرِجَ الأكسُجِنْ من ثاني أكسيد الكربون CO_2، مما قلل من تركيز ذلك الغاز ذي تأثير الصوبة الزجاجية [حبْسِ الحرارة والأشعة الشمسية] في الغلاف الجوي(الهواء) والمحيط، وبرَّدَ المناخَ.

حولت البكتيريا منتجة الميثان Methanogens ثاني أكسيد الكربون CO_2 إلى ميثان CH_4، والذي هو غاز صوبة زجاجية [حابس للأشعة الشمسة] أكثر فاعليةً من ثاني أكسيد الكربون في حبس الأشعة الشمسية. بالتالي، ففي الأزمنة التي كانت فيها البكتيريا المنتجة للميثان متغذيات ذاتيًا مهمةً عالَميًا، فقد يكون إنتاجُها للميثان قد أدفأ كوكبَ الأرض.

عندما نتتبع تاريخ الحياة، سوف ندرك أن التغيرات البيولُجية [الحيوية] الرئيسية الكبيرة أدَّتْ إلى تغيرات بيئية كبيرة، والتي بدورها أدت إلى أحداثٍ بيولُجية أخرى، وهلمَّ جرًّا. والعكس صحيح، أدت التغيرات الفيزيقية الكبيرة إلى تغيرات بيولُجية، وهلم جرًّا. إنه هذا التفاعل الديناميكي هو المهم. إن للحياة ذلك التأثير الهام الهائل على الكوكب لدرجة أن وكالة ناسا [لأبحاث الفضاء] تبتكر وتبحث في إستراتيجيات لرصد وجود حياة على الكواكب خارج منظومتنا الشمسية بالبحث عن إشارتها الكيميائية. نستطيع استعمال نفس الإستراتيجية في محاولة تحديد متى نشأت الحياةُ على كوكب الأرض، وأي شكل اتخذت.

دليل النظائر على العمليات البيولُجية

معظم العناصر الكيميائية لها نظيران أو أكثر، أيْ: ذراتٌ تتصرف كما ينبغي عليها كيميائيًا، لكن لها كتلًا ذرية مختلفة قليلًا. وهكذا، فإن معظم ذرات الكربون تزن ١٢ وحدة كتلة ذرية (النواة لها ٦ بروتونات و٦ نيوترونات). لكن ذرات كربون قليلة لها نيوترون إضافي، لذلك فإنها تزن ١٣ وحدةَ كتلةٍ ذريةٍ، ويُسمَّى بالكربون ١٣ أو ^{13}C.

الكتلة الإضافية لا تؤثر على الكيميائية، لكن لها تأثيراتٍ أخرى. فالكربون الأثقل يتحرك أبطأ قليلًا من الكربون الأخف. وكمثال، ففي جزيء ثاني أكسيد الكربون CO_2، تتحرك الجزيئات ذات الكربون ١٣ ^{13}C أبطأَ قليلًا من الجزيء ذي الكربون ١٢ ^{12}C. تمتص الكائناتُ القائمة بالبناء الضوئي _سواءً من الهواء أو في الماء_ ثاني أكسيد الكربون CO_2 وتفككه، واضعةً الكربون ضمن بناء أنسجتها. رغم ذلك، فبما أنها تمتص الكربون ١٢ ^{12}C الأخف بسهولة أكثر من الكربون ١٣ ^{13}C. الكربون الذي يدخل في عملية التركيب الضوئي يحتوي على كربون ١٢ أكثر؛ فإن المعدل الخاص به للكربون ١٣ مقابل الكربون ١٢ يختلف عن المعدل الذي في ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي جاء منه، فيميل باتجاه نظير الكربون الأخف. ويُدعَى هذا الاختلافُ بالتجزئة أو الفصل النظائري، ويمكن قياسه بمقياس طيف الكتلة (بحوالي ٢٥ دولارًا للعينة). يُعبَّر عن التجزئة النظائرية نمطيًا بأجزاء في الألف " per mil". للكربون الخاص بعملية البناء الضوئي في سطح المحيط تجزئة نظيرية للكربون ١٣ _أو $\partial^{13}C$_ حوالي −٢٠ في الألف؛ وهي علامة سالبة تعني أنه يحتوي على كربون أخف [كربون ١٢] أكثرَ.

مع ملاحظة أن هذا ليس له علاقة بالتأريخ بالكربون المشع، والذي يتعامل مع نظير الكربون المشع الكربون ١٤ ^{14}C. أما النظائر المستعمَلة في العمل الموصوف هنا فهي نظائر غير مشعة أيْ: نظائر مستقرَّة.

تشغِّل الكائنات المتعضية المختلفة تفاعلاتٍ مختلفةً قد تُحْدِثُ فصلًا نظيريًا مختلفًا. وهكذا فإن البكتيريا المنتجة للميثان methanogens _والتي تقسِّم CO_2 وتصنع الميثان_ تنتج $\partial^{13}C$ بقيمة حوالي −٦٠. بعبارة أخرى: يتميز الميثان الناتج عن البكتيريا المنتجة للميثان بكربون خفيف جدًا.

كل هذا يعني أن نشاط البناء الضوئي على كوكب الأرض _سواءً اليابسة أو البحر_ يؤدي إلى تركيز الكربون الخفيف في الأنسجة الحية. لو بعد ذلك دُفِنَ ذلك الكربون الخفيف بعد موت الكائن المتعضي، فإن عملية الإنتاج القائم على عملية البناء الضوئي يمكن أن تترك "توقيعَ" الكربون الخفيف في المتحجرات والرواسب. بالتالي يمكن استعمال نظائر الكربون كمقياس غير مباشر (أو مؤشر "وكيل" أو "وسيط، بديل) على الأنظمة البيئية الأحيائية الخاصة بكوكب الأرض في الماضي. التغيرات المفاجئة في نظائر الكربون توجد بالفعل في السجل الصخري، وهذه "الشذوذات النظيرية" قد تدل على تغيرات درامية كبيرة _وأحيانًا حتى كارثية_ في الأنظمة البيئية الأحيائية القديمة.

تُستعمَل نظائر النيتروجين أكثر في تقدير عمليات التمثيل الغذائي القديمة. فإن أكَلَ كائنٌ متغذٍّ بالمصادر الخارجية على أنسجةِ كائنٍ آخرَ، فإنه سيهضم ويمتص وربما يضع ذلك النيتروجين في المكوِّنات العضوية الخاصة بعظامه أو أسنانه. خلال ذلك الهضم، فإن نظيرا النيتروجين ^{15}N و ^{14}N يتجزآن بحوالي +٣ في الألف. فإن أكلَ ذلك الكائنَ المتغذي بالمصادر الخارجية كائنٌ آخرُ، فإن معدل الفصل النظيري للنيتروجين ١٥ ($\partial^{15}N$) سيزداد بمعدل

+٣ في الألف أخرى. تختلف توقيعات نظائر النيتروجين بين الأنظمة البيئية الأحيائية [الحيوية] البرية والمحيطية أو البحرية. يستطيع المرء المعرفة بصدد طريقة حياة حيوان ما باستعمال نظائر النيتروجين N. كمثال، فقد وُجِدَ أن نوعًا من سمك العصر الطباشيري كان لديه تباينات سنوية في نظائر النيتروجين الموضوعة في عظام أذنه. لقد فُسِّر هذا على أنه يُثبِتُ أن السمكة عاشت كالسَلَمُون، مبدِّلةً بيئتها ما بين ماء المحيط والنهر حسبما تغيرت الفصول. لقد قُدِّرَتْ [أو خُمِّنَتْ] الأنظمة الغذائية للبشريين النيندرتاليين ومتحجرات بشرية [وبشرانية] أخرى بنفس الطريقة، من خلال "توقيعات" [أو آثار] نظائر النيتروجين في الأسنان؛ وبلا دهشةٍ من أحدٍ، يبدو أن البشريين النيندرتاليين كانوا يأكلون الكثيرَ من اللحم.

إن كامل مجال علم الجيولُجِي القائم على النظائر المستقرة تحدث فيه ثورة تقدم. يمكن أن تحمل نظائر الأكْسُجِنْ معلوماتٍ عن المناخ القديم؛ ونظائر الكبريت أدلة على نشاط بكتيريا الكبريت التي لم تُحفَظ قط تقريبًا كخلايا [متحجرة]؛ وتُهَذَّب وتُستكْمَل طرق جديدة لتفسير ومعرفة بيئات الماضي وعلم المتحجرات وأشكال الحياة القديمة.

أقدم صخور الأرض

يُدعى أول ثلث من تاريخ الأرض بالدهر السحيق Archean، وهو زمن كان كوكب الأرض المبكر فيه مختلفًا جدًّا عن كوكب العصر الحالي. لقد كان هناك القليل من الأكسجين أو لا يوجد في الغلاف الجوي. كانت هناك أشكال حياة أقل بكثير في البحار ولا حياة على الإطلاق على اليابسة. كان كوكب الأرض حديثًا؛ فكان لُبُّه (باطنه) أسخن، وكانت طاقته الداخلية أكبر. نستطيع أن نخمن أن النشاط البركاني كان أكبر بكثير، لكننا ليس لدينا فكرةٍ عما إذا كان أكثر عنفًا أم كان فقط أكثر استمرارية. إن إعادة بناء الظروف على كوكب الأرض المبكر صعبة ومتحدية [عصيَّة].

إن الصخور الأقدم من 3,5 مليار سنة (٣٥٠٠ مليون سنة) نادرة جدًّا. إن أقدم المعادن على كوكب الأرض هي بلورات الزِرْكون [الزِرْكُنْ] بعمر أكبر من ٤ مليارات سنة، لكنها قد تؤوكِلَتْ من صخورها الأصلية ووُضِعَتْ كشظايا في صخور أحدث. تحتوي تلك الحُبَيباتُ على دليل على أنه قد كانت هناك رقع من القشرة الأرضية الصخرية القاريّة [وهي ذلك الجزء من قشرة الأرض الواقع تحت القارات والأرصفة القارية] على كوكب الأرض قبل ٤ مليارات سنة.

هذا مهم جدًّا لأن القشرة القاريّة _التي يهيمن عليها الجرانيتُ [الصوّان]_ توجد فقط على كوكب الأرض. وتختلف كيمياؤها جدًّا عن القشرة المحيطية (القشرة الصخرية الواقعة تحت الأحواض المحيطية أو البحرية)، وتحتوي معادنَ هامة تُطلِق الفسفورَ والبوتاسيوم حينما تتفكك في عملية التجوية على السطح. الفسفور على وجه الخصوص حيوي هام للحياة (راجع الفصل الأول، ص ٥٢). لعل القشرة الأرضية القارية سمة فريدة أخرى خاصة بكوكب الأرض شجَّعَت تطورَ الحياةِ هنا.

إن أقدم صخور معروفة على كوكب الأرض توجد في جرينلاند، وقد أُرِّخَتْ بوسائل عديدة بأنها بعمر 3,85 مليار سنة. وبجوارها، توجد صخور رسوبية في مجموعة أحدث بقليل جدًّا من الصخور والتي تُعرَف بسلسلة آيسِوَة Isua (وتبلغ عمر مليار سنة). لقد طُوِيَتْ وحُطِّمتْ وأعيد تسخين صخور آيسوة على نحو متكرر، لكنها لا يزال يمكنها أن تفيدنا بشيء عن الظروف على كوكب الأرض المبكر عندما تكونت. لقد وُضِعَتْ في ماء ضحل على طول ساحل بركاني، لأنها تحتوي على حصى مستدير شاطئيّ ومنتَجات تجوية من اللاڤا [الحمم البركانية]. كانت درجات الحرارة في ذلك الزمن دافئة، لكنها لم تكن فائقة للعادي. بعبارة أخرى: كانت الظروف على كوكب الأرض ملائمة ومضيافة للحياة في زمن 3,7 – 3,8 مليار سنة ماضية على الأقل، بما في ذلك حقيقة أنه كانت هناك يابسة بالإضافة إلى المحيط.

يوجد كربون في صخور آيسوة، وقد تفحصت مجموعات عديدة من العلماء ذلك الكربون. ولقد قيسَت تجزئات نظيرية تتراوح من −٢٢ في الألف إلى −٥٠ في الألف، وظاهريًّا فهذه التجزئة النظيرية تدل على حياة؛ لكائنات قائمة بالبناء الضوئي أو منتِجة للميثان. يدَّعي آخرون أنه يمكن تفسير نِسَبَ نظائر الكربون من خلال العمليات الغير عضوية، بدون النتيجة المتضمنة لوجود حياةٍ. لا تزال المسألةُ محلَّ جدالٍ. في الصخور الأحدث ليس هناك جدال؛ فالتجزئة النظيرية فيها مقبولة كأثر معروف لعملية التركيب الضوئي، لأن الفرضية البديلة أكثر تعقيدًا.

أقدم خلايا كوكب الأرض

كثيرًا ما تكون صخور الدهر السحيق غنية بالمعادن، وقد اسْتُكْشِفَتْ مناطق [أنطقة] الدهر السحيق جيدًا جيولوجيًّا لأسباب اقتصادية. أحد تلك المناطق في شمالي غرب أستراليا يُدعى بـ"القطب الشمالي" لأنه بعيد للغاية وقاسٍ غير مضياف. لقد استُكشِفَ في الأصل للبحث عن معدن الباريابت barite، لكن ذلك منَحَ أيضًا أدلةً على شكل حياة مبكرة جدًّا.

يُدعى ذلك التسلسل الصخري المَحليُّ [بالنسبة للمؤلف لأنه أسترالي] بتسلسل وُرونا Warrawoona، وعمره حوالي 5 ,3 مليار سنة. تتألف تلك الصخور على نحو رئيسي من حمم بركانية ثارت [أو أُطْلِقَت] في ماء ضحل، أو بجواره على الشاطئ، لكن هناك صخور رسوبية [بها] أيضًا. تتألف الرواسب من رقائق طينية مبعثَرة بالعواصف، ورمال مكسوحة بالأمواج، ومعادن تشكلت بالتبخر في بِرَكٍ ضحلة جدًّا. لم تُغيَّر أو تُحرَّف الصخورُ أو تُطوَى أو تُسخَّن كثيرًا جدًّا، ويمكن إعادة بناء البيئة بدقة. تشكلت الصخور على طول سواحل قديمة نستطيع استنتاجها على نحو واضح لأننا نستطيع مطابقتَها مع البيئات الحديثة. توجد ثلاثة عناصر أخرى للقصة القادمة من وُرونا، وكلها ذات صلة بالدليل على وجود الحياة على كوكب الأرض في ذلك الزمن.

السْتْرُوماتوليت (الرقائق الكلسية الطحلبية، الأشنات المتحجرة) Stromatolites

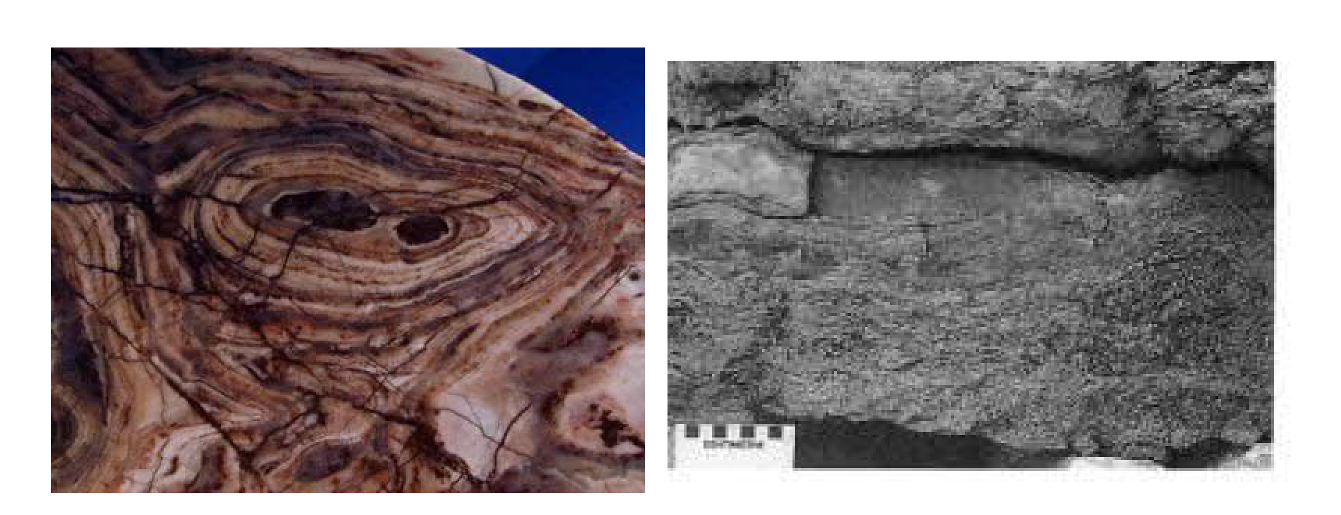
تحتوي صخور وُرونا على بنيوات تُدعى بالستروماتوليت، وهي أكوام منخفضة أو قباب مؤلفة من رواسب على شكل صفائح مكوَّنة برقة (الصورة ٢– ٧). إننا نعرف ماهيةَ الستروماتوليت لأنها لا تزال تتكوَّن في العصر الحالي في أماكن قليلة، كمثال في خليج القرش بغربي أستراليا. كوَّنَتْ الستروماتوليتاتِ كُتَل شبيهة بالسجاد من ميكروباتٍ وفيرة، وتتضمن الميكروبات التي تكوِّنُ الستروماتوليتاتِ المعاصرةَ عادةً بكتيريا خضراء مزرقة (سيانوبكتيريا). مجددًا، فإن أبسط فرضية هي أن السيانوبكتيريا قد كوَّنَتْ سترومالويتاتِ وُرونا Warrawoona.

تتكون الستروماتوليتاتُ في العصر الحالي في خليج القرش [في أستراليا] في مياه مالحة دافئة في جونات [ألسنة، مصبات، منافذ] طويلة ضحلة على طول خط ساحلي صحراوي (الصورة ٢– ٨). إنها تتكون من مناطق مستوى المد الأعلى نزولًا حتى المستويات تحت المدية. لكن الأطول منها وهي الأقرب إلى الشاطئ قد دُرِسَتْ على نحو أفضل (حيث أن ثعابين البحر _وليس القروش_ هي المشكلة).

السيانوبكتيريا التي تنمو وتقوم بالبناء الضوئي في خليج القرش تزدهر على نحو خصيب للغاية في الماء لكونه مالحًا للغاية بحيث لا يصلُح لترعى فيه الحيوانات كالحلزونات وقنافذ البحر التي كانت ستأكلها لولا ذلك. وكمعظم البكتيريا، فهي تفرز مادة لزجة، وقادرة أيضًا على التحرك قليلًا بحركة تزلُّقية. الرواسب التي تقذفها الأمواجُ قد تضرب المادة اللزجة وتغطي بعض البكتيريا. لكنها سرعان ما تتسلل وتنمو عبر الرُسابة عائدةً إلى الضوء، حابسةً الرُسابةَ بينما هي تفعل ذلك. وبينما تكرر الدورةُ نفسَها، تتراكم الرسابةُ تحت السجادات [البكتيرية] النامية. وآخر الأمر، تنمو السجادات [أو المفارش] بطول أعلى مد، لكنها لا تستطيع النموَ أعلى من ذلك حيث ستصير ساخنة وجافة للغاية. تتصلب بعض المفارش حيث يساعد نشاط البناء الضوئي الخاص بالبكتيريا على ترسب الكربونات من ماء البحر المتشبِّع بها، جامعًا الرواسب في كتلة صلبة شبيهة بالصخر والتي يمكنها مقاومة حركة الماء.

بعض مفارش السيانوبكتيريا تكون كثيفة للغاية بحيث أن الضوء قد يخترق ١ مليمترًا فقط. تمتص الطبقة الأعلى للسيانوبكتيريا حوالي ٩٥% من الضوء الأزرق والأخضر، لكن تحت منها مباشرة منطقة يكون الضوء فيها أضعف، لكن التعرض للأشعة فوق البنفسجية والحرارة يكون أقل أيضًا. تنمو البكتيريا الخضراء والبنفسجية وتساهم أيضًا في نمو المفرش [البكتيري]. تحت الطبقة الثانية منطقة يكون الضوء فيها منخفضًا للغاية بحيث لا يمكن القيام بالبناء الضوئي، وهناك توجد بكتيريا متغذية على المصادر الخارجية تمتص وتعالج [تمثِّل غذائيًّا] أي بقايا محتضرة أو ميتة من البكتيريا التي فوقها، وذلك نمطيًّا بالتخمير. ينتشر الأكسُجِن إلى الأسفل من السطح، وينتشر الكبريتيد باتجاه الأعلى من المنطقة الأسفل، صانعين منطقة فائقة للعادة حيث يمكن أن تتغير الكيمياء خلال دقائق وضمن مليمترات.

يتبع النهارَ الليلُ بالتأكيد، وتتوقف عملية التركيب الضوئي في الليل. يُفقَد الأُكْسُجِن في الطبقات العليا من الستروماتوليت سريعًا. يهيمن الكبريتيد على ساعات الليل، بينما يهيمن الأكسجِن على ساعات النهار، ويجب أن تكون كل البكتيريا قادرة على التكيف سريعًا مع التغير اليومي. إن الكيمياء الداخلية للستروماتوليتات معقدة بنفس درجة تعقيد مزيج البكتيريا؛ ولا يوجد سبب للافتراض بأن الستروماتوليتات القديمة كانت مختلفة بأي درجة.



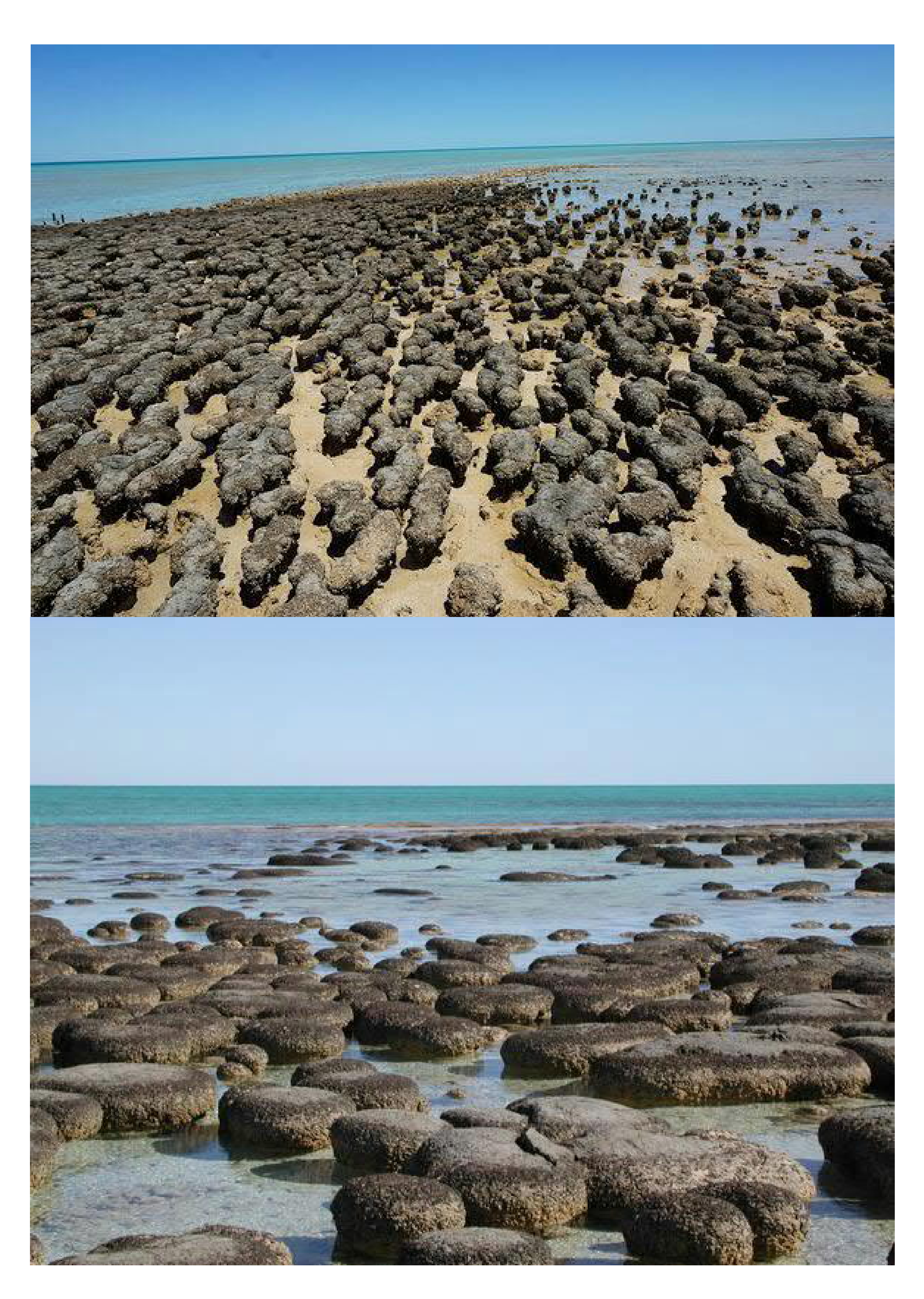
الصورة ٢– ٧ أقدم متحجرة آثار عُثِرَ عليها حتى الآن على كوكب الأرض، وهي ستروماتوليت من سلسلة صخر وُرُونا Warrawoona في أستراليا. إنها تترافق مع رواسب متأثرة بالأمواج، وبالتالي فقد تكونت في ماء ضحل جدًّا. وبمقارنة هذه البنية مع هؤلاء المتكونات في العصر الحالي في خليج القرش (الصورة ٢– ٨)، يمكن استنتاج أنها قد كونتها مفارشُ البكتيريا منذ حوالي 3, 5 مليار سنة (بتكرم من Stanley Awramik، جامعة كاليفورنيا، سانتا باربارا Santa Barbara)



متحجرة ستروماتوليتات في محجر شرت بركة ستريلي Strelley Pool chert– غربي أستراليا







الصور ٢– ٨ تتكون الستروماتوليتات في العصر الحالي في الماء المالح الدافئ في خليج القرش، بغربي أستراليا. تعطينا المجرفة مقياس الصورة. الدراسة المتملية لهذه البنيوات المعاصرة تمكننا من التعرف على الستروماتوليت في وْرونا (الصورة٢ –٧) على أنها متحجرة آثار مبكرة كونتها مفارش السيانوبكتيريا (بتكرم من Paul Hoffman، جامعة هارڤارد)

الستروماتوليتات العتيقة

الستروماتوليت هي متحجرات آثار؛ لقد تكونت بفعل الخلايا الحية، حتى لو كانت تلك الخلايا نادرًا ما حُفِظَتْ على الإطلاق فيها كمتحجرات. ولأنها [متحجرات الستروماتوليتات] كبيرة، ولأن بنيتها المميزة تجعل تمييزها سهلًا، فإن الستروماتوليتات أكثر المتحجرات بروزًا لمدة ثلاث مليارات سنة من تاريخ كوكب الأرض، منذ 5 ,3 مليار سنة حتى نهاية دهر الطلائع [أشكال الحياة البدائية، الأَوَلِيّات] في زمن حوالي ٥٥٠ مليون سنة ماضية. إنها نادرة في صخور الدهر العتيق، على الأرجح لأنه لم يكن هناك سوى القليل من بيئات الصخور المسطحة الواضحة في المياة الضحلة والمناسبة لنمو الستروماتوليتات في ذلك الزمن. كانت مساحات الأراضي الواسعة القليلة في الدهر السحيق نشطة بركانيًا، مسبِبةً معدَّلاتٍ عاليةً من الترسيب والتي على الأرجح كبحَتْ نمو المفارش [البكتيرية] في الكثير من بيئات السواحل.

إن متحجرات الستروماتوليتات صغيرة ونادرة في صخور وْرونا Warrawoona، لكنها أكثر تعددًا وتعقيدًا ووفرةً في صخور مجموعة "شجرة التين" في جمهورية جنوب أفريقيا، والتي تؤرَّخ بزمن حوالي 3,4 مليار سنة (الصورة ٢– ٩). بالتالي، فإن الحياة البكتيرية كانت مترسِّخة جيدًا في ذلك الوقت، حتى لو كانت توجد الستروماتوليتات في مناطق موضعية.

كانت الأشعة فوق البنفسجية كثيفة في الدهر العتيق، بدون أُكْسُجِن (أو طبقة أوزون) في الغلاف الجوي. ربما كان تطور طريقة حياة الستروماتوليت الخاصة بالسيانوبكتيريا استجابةً للأشعة فوق البنفسجية. فمع اختراق الضوء والأشعة فوق البنفسجية فقط طريقًا ضئيلًا عبر الإفراز اللزج والرُسابة الخاصة بالمفرش البكتيري، كانت البكتيريا قادرة على الحياة جوهريًّا في ماء ثريّ بالغذاء بدون التعرض للتلف بفعل الأشعة فوق البنفسجية. لم تكن السيانوبكتيريا موجودةً في وْرونا فحسب، بل كانت قد عدَّلَتْ بيئاتِها المجهرية لأجل البقاء والنجاح. لم تكن هذه الستروماتوليتات مجرد مواضع للمفارش الميكروبية البسيطة، بل كانت أنظمة بيئية أحيائية مصغَّرة معقَّدة حافلة بالحياة.





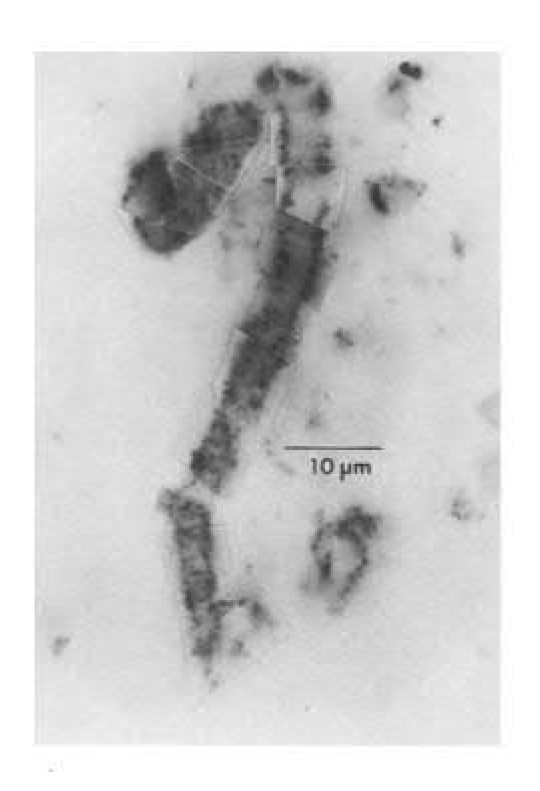
الصورة ٢– ٩: ستروماتوليتات من مجموعة "شجرة التين" في جمهورية جنوب أفريقيا بنفس عمر ستروماتوليت ورونا تقريبًا والظاهر في الصورة ٢– ٦. العملة في الصورة للقياس قطرها ٢ سم (الصورة بعلى اليمين تفضل من Gary Byerly،، جامعة ولاية لويزيانا، أمِركا)

خلايا متحجرة في حجر صوان (شِرْت) وْرونا Warrawoona؟

الشِرْت هو حجر معدني كوارتزي دقيق التبلور مكوَّن من جسيمات السِلِكا الميكروسكوبية (SiO2). إنه لا يتكون بسهولة في العصر الحالي لأن كل أنواع الكائنات المتعضية _بما فيها الإسفنج_ تأخذ السِلِكا من ماء البحر لتصنع هياكلها. لكن الكائنات المتعضية المستعمِلة للسِلِكا لم تكن قد نشأت في عصور الدهر السحيق، لذلك فكثيرًا ما تكون صخور صوان الشِرْتْ cherts وافرةً في صخور الدهر العتيق. وبما أن الشرت يتكون من مادة لزجة شبيهة بالهلام على قاع البحر، فإنها قد تحيط بالخلايا وتنقعها في السِلِكا، حافظةً إياها في تفصيل دقيق متقَن بينما تتصلب السِلِكا متحوِّلة إلى صخر شِرْتْ. وحالما تتصلب، فإن الشرت مانع للماء، لذلك فإن الماء المتخلل لا يفكِّك أو يُفسِد الخلايا المتحجرةَ بسهولةٍ.

لقد صُوِّرَتْ الخلايا المتحجرة من صخور الشرت في وْرونا (الصورة ٢– ١٠). ويبدو البعض منها على الأقل مشابهًا جدًّا للسيانوبكتيريا التي تنتِج الأُكْسُجِن في العصر الحالي. وحاليًّا هناك جدال شديد حول حقيقة هذه الخلايا، لذلك ينبغي أن أوضح لماذا ليس مهمًا للغاية بأي طريقة سيُحسَم هذا الجدال.

فلو كانت "خلايا" وْرونا Warrawoona ليست خلايا حقيقية، لن يغير هذا من تصورنا للحياة المبكرة على كوكب الأرض كثيرًا. إن الستروماتوليتات مؤشرات واضحة على وجود حياة، وإن لنظائر الكربون من صخور ورونا تجزئة نظيرية حوالي –٣٠ في الألف، مما يدل على وجود عملية البناء الضوئي.



الصورة ٢– ١٠ خلية من صخور ورونا في أستراليا، عمرها 5 ,3 مليار عام. (الصورة بتكرم من J. William Schopf، جامعة كاليفورنيا، لوس أنجِلُس)

هل كُوِّنَتْ ستروماتوليتاتِ وُرونا بفعل السيانوبكتيريا (مما يتضمن إنتاجَ الأكْسُجِن) أم بفعل بكتيريا قائمة بالبناء الضوئي أخرى والتي قد تكون أنتجَتْ _مثلًا_ الكبريت؟ توجد خلايا سيانوبكتيريا واضحة وستروماتوليتات كلٌّ منها توجد في صخر شِرْت "شجرة التين" في جمهورية جنوب أفريقيا، بعمر 4 ,3 مليار سنة (الصورة ٢– ٩). إن الادعاء لصالح وجود السيانوبكتيريا في ورونا مهم لأن السيانوبكتيريا تنتج الأكسجن. لكن تغيير تاريخ وجود عملية البناء الضوئي المنتجة للأكسُجِن من 5 ,3 مليار إلى 4 ,3 مليار سنة ماضية لا يهم كثيرًا حقًّا (بالنسبة لعالِم جيولُجِي)!

أواخر الدهر العتيق ودهر الطلائع المبكِّر

عاشت أقدم الستروماتوليتات في وُرونا Warrawoona وفي صخور شرت "شجرة التين" منذ حوالي 4 ,3 – 5 ,3 مليار سنة ماضية. وبحلول 1 ,3 مليار عام ماضٍ، كان هناك طرازان مختلفان بلا ريب وعلى نحو مميَّز من مفارش البكتيريا؛ وبحلول 9 ,2 مليار سنة ماضية هناك أدلة على وجود مفارش بكتيرية تكونت فوق قيعان البحار الليّنة [الطرية] المالحة، وبحلول 8 ,2 مليار سنة ماضية يُعرَف بوجود الستروماتوليتات في بيئات البحيرات المالحة وأيضًا في السواحل المحيطية. بالتالي فبحلول أواخر عصور الدهر العتيق، كانت الحياة البكتيرية وفيرة ومتنوعة في مواطن السواحل.

لقد كانت هناك تغيرات جيولُجية هامة عند نهاية الدهر العتيق، والتي تُحدَّد بـ 5 ,2 مليار عام ماضٍ. فقد برُد باطنُ الأرض إلى حد ما، وصارت القشرة الأرضية أسمك وأقوى. أثرت القشرة الأسمك على الأنماط التكتونية؛ أيْ: الطريقة التي تتحرك وتنطوي وتتحطم بها القشرة تحت الضغط. صارت القارّات أكبر وأكثر استقرارًا في عصور دهر الطلائع المبكر، مع وجود أرفف صخرية بحرية قارية ضحلة واسعة (الرف البحري هو المكان الخاص بكتلة صخرية تغطيها مياه فيضانات البحر على نحو دوري) دَعمَتْ نموَ الستروماتوليتات والحفاظ عليها. تحتوي معظم الصخور المكرنَة الخاصة بدهر الطلائع على ستروماتوليتات، وبعضها هائل في امتداد (الصورة ٢– ١١). تطورت ستروماتوليتاتُ دهر الطلائع إلى أشكال جديدة ومعقدة كما صارت المستعمرات البكتيرية أثرى وتوسَّعَتْ في بيئات أخرى أكثر.



الصورة ٢– ١١ كانت الستروماتوليتات أكثر وفرةً في دهر الطلائع عما قد كانت في الدهر السحيق. لقد نمى هذا الحشد الخصيب من الستروماتوليتات منذ حوالي 9 ,1 مليار سنة ماضية على شاطئ حيث تقع بحيرة العبد العظيم Great Slave Lake في العصر الحالي على منطقة الدرع الكَنَديّ. (الصورة بتكرم من Paul Hoffman، جامعة هارڤارد).

الغلاف الجوي والمناخ المبكران لكوكب الأرض

تكونت الأرضُ ساخنةً، وسخنتْها الطاقةُ التي في النيازك الساقطة عليها، لكننا نعرف من السجل الصخري أنها بردَتْ إلى الحرارة "العادية" بحلول 7 ,3 – 8 ,3 مليار سنة ماضية، عندما كانت أمواجُ المحيطِ تغمُرُ وتضرب شواطي آيسوة Isua. إلا أن نماذجنا الخاصة بفيزياء النجوم تقترح أن الشمس كانت أبردَ، ربما أبرد بمقدار ٣٠%، خلال تاريخها المبكر. لو كان الأمر كذلك، فينبغي أن الأرض كان لها مناخ باردِ في زمن الدهر السحيق، ربما متجمد إلى حد بعيد. لعل هذا كان جيدًا لتكوُّن الجزيئات العضوية والحياة، كما رأينا في الفصل الأول (ص ٤٥)، حتى لو كانت هناك أماكنٌ قليلة فقط دافئةٌ على نحوٍ كافٍ لازدهار أول خلايا حية. رغم ذلك، لعل نشوء وتطور العتيقات Archaea قد غيَّر كلَّ ذلك. فإن إنتاجها لغاز الميثان ذي تأثير الصوبة الزجاجية [حبس الحرارة] يمكن أن يكون قد كان له نتيجة [أثر، تغذية استرجاعية] إيجابية، حيث دفَّأ كوكبَ الأرض، مشجعًا على المزيد من النشاط البيولُجيِ، مؤديًا إلى إنتاج المزيد من الميثان، وهلم جرًّا، مما جعل مناخَ عصور الدهر السحيق دافئًا وملائمًا ليس للعتائق فحسب بل وأيضًا للبكتيريا. (كمثال، يتسرب الميثان من الستروماتوليات الموجودة في زمننا المعاصر).

لم يكن بالغلاف الجوي المبكر لكوكب الأرض أُكْسُجِنْ؛ فلم يكن يمكن أن تَنشأ الحياةُ على كوكب الأرض لو كان بها [أكسجن]. بالتالي فقد عاشت الحياة المبكرة على كوكب الأرض في عالم به القليل من الأكسجن الحر أو بدونه تمامًا، بالتأكيد أقل من ١%. يدمِّر الأكسجن الحرُّ الميثانَ، لكن [مع غياب أو ندرةِ الأكسجن] كان المناخ الدافئ الخاص بالدهر السحيق _والذي حافظ عليه إمدادُ الميثانِ من جانبِ العتيقات مولِّدة الميثانِ_ غير مهدَّد بالخطر.

تكوينات طبقة الحديد الحزامي [أو الشرائطي أو المُشرَّط، وهي طبقة ترسبية تعود إلى العصر القبل كامبريّ]

عند بداية دهر الطلائع [دهر الحياة البدائية] (منذ حوالَيْ 5 ,2 مليار سنة ماضية) نجد تراكماتٍ ضخمةً بتزايدٍ من نوع مميَّز من الصخور. إن تكوينات طبقة الحديد الحزامي هي صخور رسوبية [تأخذ وضع البنية الشريطية وتحتوي أيضًا على صوان أو شرت أو كوارتز دقيق الحبيبات] توجد على نحو رئيسي في تسلسلات أقدم من 8 ,1 مليار سنة ماضية. إنها تعاقباتٌ من أكسيد الحديد وصخر الشِرْتْ، والتي تتكرر أحيانًا ملايين المرات في حِزَمٍ مجهرية [ميكروسكوبية]. لا تتكون رواسب حديد كهذه في العصر الحالي، لكننا نستطيع عمل تخميناتٍ ذكيةً عن الظروف التي تكونت فيها تكوينات الحديد المشرَّط.

كانت كيميائية ماء البحر على كوكب الأرض الفقير بالأكسجن تختلف على نحو كبير عن الكيميائية الخاصة بالعصر الحالي. لا يوجد في العصر الحالي عمليًّا وتقريبًا حديد مذاب في المحيطات. لكن الحديد يذوب بسهولة في الماء الذي ليس فيه أكسجن. حتى في العصر الحالي، في الماء الفقير بالأكسجن على قاع البحر الأحمر يكون الحديد أثرى فيه ٥ آلاف ضعف المعدلات الطبيعية. بالتالي فلا بد أن محيطات الدهر السحيق احتوت على قَدْرٍ كبير من الحديد المذاب وكذلك السِلِكا.

السِلِكا كانت توضَع باستمرار تقريبًا على قيعان بحار الدهر السحيق لتشكِّل طبقات صخور شِرْتْ، خاصةً في المناطق التي لا تتلقّى الكثير من الطمي والرمل من اليابسة. لكن أكسيد الحديد لا يمكن أن يترسب من ماء البحر بهذه الكميات الكبيرة إلا فقط بتفاعل كيميائي يتضمن الأكسجن.
بالتالي، لتكوين إحدى طبقات أكسيد الحديد في تكوينات الحديد الحزامي، يجب أنه قد كان هناك المحيط الخاص بالدهر السحيق الخالي من الأكسجن والذي به الكثير من الحديد المُذاب. ثم قام حدَثُ أكسدةٍ هائلٌ بإسقاط ذلك الحديد إلى قاع البحر. ثم توقف حدث الأكسدة، وصار المحيطُ مرة أخرى خاليًا من الأكسجن وممتلئًا بالحديد المذاب، ثم بدأ العملية مرة أخرى من جديد.

بالتالي فقد كانت هناك فترات متقطعة من آن إلى آخر أو فترات منتظمة من تكون تكوينات معدن الحديد في مقابل خلفية من التكون المنتظم لصخر الشرت (الصوان). وبين فترات ترسُّب الحديد، كان يُعاد تزويد المحيط بالحديد بفعل التآكل على طول الأنهار الصابّة فيه أو من الثقوب البركانية في عمق البحر.

توجد فرضيتان عن تكون طبقة تكوينات الحديد الحزامي، أحدهما غير عضوية والأخرى عضوية، وكلاهما يتطلَّبان ترسيبات موسمية لمعدن الحديد. كلتاهما يمكن أن تكون صحيحةً. في النموذج الغير عضوي البارز، تكون الأشعة فوق البنفسجية قد كوَّنَتْ مركبَ حديدٍ في المياه السطحية، والذي سقط ليُكَوِّنَ طبقة من معدن الحديد على قاع البحر. هذا التفاعل كان يصل لذروته خلال الصيف، عندما كان ضوء الشمس في أشد كثافته. يستطيع النموذج الغير عضوي أن يفسر سبب وجود بعض تكوينات الحديد الحزامي في صخور آيسوة Isua بعمر 3, 8 مليار سنة.

رغم ذلك، فحتى تكوينات الحديد الحزامي أو المشرَّط "الغير عضوية" قد تكون في الحقيقة قد رسَّبَتْها بكتيريا. تستطيع البكتيريا السلوك بحيث تُكَوِّنَ بلوراتٍ ضئيلة شبيهة بالبذور من معادن الحديد، والتي تواصل النمو بعد ذلك بطريقة غير عضوية. سيكون صعبًا على نحو فائق للعادة رصد كون هذا الأمر قد بُدِأ فيه بفعل سلوكٍ بكتيريٍّ. تستطيع مزارع البكتيريا المعملية تكوين حديد والذي يبدو "غيرَ عضويٍّ"، لذلك فسيكون شخصًا جريئًا من سيقول أن البكتيريا لم تكن متضمَّنة [= لها دور] في عملية تكوين تكوينات الحديد الحزامي.

في النموذج العضوي، تكون تكوينات الحديد الحزامي قد كُوِّنَتْ على نحوٍ مباشر بفعل عملية البناء الضوئي. هذا يمكن أن يكون قد قيمَ به بإحدى طريقتين: إما من قِبَلِ السيانوبكتيريا في الستروماتوليتات، أو من قِبَلِ البكتيريا البنفسجية الطافية في الماء. تستعمل البكتيريا البنفسجية عمليةَ التركيب الضوئي لتفكيك كربونات الحديد المذاب في الماء، وتنتج الحديد المؤكسَد كمنتَجٍ ثانويٍّ عَرَضِيٍّ. كلا التفاعلين البكتيريين كانا أيضًا يصلان إلى ذورتهما أثناء فترة الضوء القويّ في فصل الصيف. نفس الدورة الموسمية التي جلبت المواد المغذية للبكتيريا جلبت أيضًا الحديدَ من الماء العميق، مؤدية إلى حدوث ترسيبات كبيرة لمعدن الحديد على قاع البحر.

لعل ما نراه في العصر الحالي هو جزء صغير فقط من تكوينات الحديد المشرطي التي تشكلت على قيعان البحار في الدهر السحيق، لأن معظم القشرة المحيطية يُعاد تدويرها راجعةً إلى [باطن] كوكب الأرض. لكنْ حتى الكميات الباقية مذهلة. تشكِّل تكويناتُ الحديدِ المشرطيِّ آلافَ الأمتارِ من الصخور في بعض المناطق وتحتوي إلى حد بعيد على أكبر كمية ترسيبات من معدن الحديد على كوكب الأرض. لقد ترسب ٦٤٠ طنًّا من تكوينات الحديد المشرَّط بين السنوات 2, 5 مليار سنة و2 مليار سنة ماضية (هذا بمتوسط نصف مليون طن من الحديد المترسب سنويًّا). إن إقليم حديد Hamersley في أستراليا وحده يحتوي على ٢٠ مليار طن من معدن الحديد الخام، مع نسبة ٥٥% محتوى حديديّ. أحيانًا، كان الحديد يترسب في تلك البركة بمعدل ٣٠ مليون طن في السنة. تقوم معظم صناعات الصُلب [الفولاذ] الحديث على معادن الحديد الخام التي ترسبت بفعل البكتيريا خلال ذلك الزمن. إن ماركات سيارات كاديلاك وتويوتا وبي إم دبليو تدين بوجودها آخر الأمر إلى البكتيريا القائمة بالبناء الضوئي في العصر قبل الكامبري.

ثورة الأُكْسُجِن

ترسبت تكوينات الحديد المشرَّط في حَزَمٍ أو عُصَبٍ يمكن تتبعها لمئات الكيلومترات، بالتالي فقد ترسبت بانتظام، أو على الأقل باستمرار، عبر مناطق كبيرة. هذا يوحي لي بأن البكتيريا القائمة بالبناء الضوئي كانت تطفو على كل سطح المحيط، وليس مجرد أنها كانت تعيش في منطقة ضئيلة خاصة بالستروماتوليتات في البحار الضحلة حول حواف القارات الصغيرة الخاصة بالدهر السحيق. رغم ذلك، فقد كانت الستروماتوليتات تزدهر على طول نفس هذه السواحل، محتوية على مفارش ضخمة من السيانوبكتيريا، وكلها تنتج الأُكْسُجِن.
أثَّرَتْ الصفات السلبية للأُكْسُجِن سلبًا أولَ الأمر على السيانوبكتيريا التي يحدث بداخلها التركيب الضوئي. وحينما طورت السيانوكتيريا ترياقاتٍ كيميائية حيوية لتسمم الأُكْسُجِن (انظر الفصل الأول)، امتلَكَتْ الفرصة للتحكم في الأُكْسُجِن واستعماله في عملية جديدة، وهي التنفس (الأَكْسَدَة البيولُجية).

تترك عمليةُ التخمير منتَجَاتٍ عَرَضِيّةً كحامض اللاكتيك الذي لا يزال به طاقة مُوْدَعة فيه. باستعمال الأُكسُجِن لتفكيك المنتَجات العرَضِية إلى ثاني أكسيد الكربون وماء، فإن الخلية تستطيع أن تُحرِّرَ طاقةً بما يصل إلى ١٨ ضِعفًا من جزيء سُكَّرٍ بالتنفس أكثر مما تستطيع تحريره بالتخمير البسيط (انظر الفصل الأول).

تستطيع السيانوبكتيريا القيام بالبناء الضوئي في الضوء والتنفس في الظلام. للقيام بذلك، يجب أن تقدر على تخزين الأكسجن في حالة مستقرّة غير سامّة لساعاتٍ في كل مرةّ. على الأرجح، فإنها قد بدأت في استعمال الأكسجن في التنفس مبكرًا جدًّا؛ فأفضليات الطاقة مذهلة. إن النجاح المبكر للسيانوبكتيريا

يدل على الأرجح على تحكمها المبكر في الأكسجين، مما منحها إمدادًا بالطاقة وفيرًا وموثوقًا به [يُعتمَد عليه] بطريقتين مختلفتين: بالسيطرة على عملية البناء الضوئي باستعمال الماء، وبتفكيك جزيئات الغذاء بعملية التنفس بدلًا من التخمير.

رغم ذلك، فإن نفس النجاح المذكور يطرح معضلة جيولُجية: فإذا كانت السيانوبكتيريا قد قامت بذلك التقدم الفارق الهام، واستعمَلَتْ عمليةً تُنتِجُ الأكسجِن كمنتَجٍ عَرَضي، فلماذا لم يصبح المحيط والغلاف الجوي مُشبَعًا بالأكسجن سريعًا؟ يُظهِر سجل الصخور والمتحجرات أن الستروماتوليتات لم تزدَدْ على نحوٍ دراميٍّ [كبير ومفاجئ] حتى بداية دهر الحياة البدائية [دهر طلائع الحياة] عند حوالي 5 ,2 مليار عام ماضٍ، ولم يصل إنتاج تكوينات الحديد الحزامي إلى ذروته حتى ذلك الزمن. تدل أدلةٌ أخرى على أنه كان لا يزال لا يوجد أكسجِن حرٌّ في الغلاف الجوي والمحيط حتى ربما 3 ,2 مليار عام ماضٍ. علاوة على ذلك، فإن الأكسجن لم يصل حتى إلى ما يقارب المعدلات المعاصر حتى ربما ٥٠٠ مليون عام ماضٍ، بعد دهر الطلائع. فلماذا لم يحدث ذلك؟

توجد أربع إجابات محتملة: الأولى أن ستروماتوليتات الدهر العتيق ربما قد كوَّنَتْها بكتيريا أخرى، وليس السيانوبكتيريا، وأن البناء الضوئي المنتِج للأكسجن ببساطة لم يحدث حتى ربما 7 ,2 مليار سنة ماضية. هذا غير مرجَّح، بالنظر إلى الأدلة التي شرحناها من قبلُ.
تتعلق الإجابة الثانية بالمصير النهائي للأنسجة العضوية الخاصة بالكائنات القائمة بالبناء الضوئي. فهي تشطر ثاني أكسيد الكربون CO_2، وتستعمل الكربون لبناء السكريات، وتُطلق O_2. في أثناء حياتها، فإنها تبني السكريات ضمن بنيان خلاياها، أو تؤكسِد السكرياتِ للحصول على الطاقة، معيدةً ضم الكربون إلى الأكسجن في CO_2. وعندما تموت، فإن الكربون الذي في خلايا قد يُعاد تدويرُه في بكتيريا أخرى، ومعظم ذلك يؤكسَد آخرَ الأمرِ ليصير CO_2 مجدَّدًا. يقضي معظمُ الأكسجن وقتًا قصيرًا فقط في المحيط والغلاف الجوي قبل أن يُسحَبَ ليؤكْسِدَ من جديدٍ نفس ذرات الكربون التي كانت مُتضمَّنة في عملية تحريره [إطلاق الأكسجن]. الطريقة الوحيدة التي يمكن بها أن يصير جزيء أكسجن حرًّا لفترة طويلة من خلال عملية البناء الضوئي هي لو أمكن للكربون أن يبتعد عن ماء المحيط والغلاف الجوي؛ وهذا يتطلَّبُ عادةً الدفنَ الجيولُجيَّ.

إنها من المعارف العامة أن أنواع وقودنا الرئيسية _البترول والغاز والفحم_ أُنتِجَت كمركَّباتٍ عضويةٍ من الأشياء التي كانت حية بعد دفنها. يتضمن تكوُّن تلك الرواسب على نحو حتمي إطلاق الأكسجن المُحرَّر إلى المحيط والغلاف الجوي في نفس الوقت.

يصعُب تقدير كم الكربون الذي دُفِنَ في العصور القديمة، وبالتالي كم الأكسجن الذي أُطلِقَ. لا تتوقع شركاتُ البترول عامةً العثور على حقول بترول وغاز كبيرة في صخور دهر الطلائع، رغم وجود إمكانيات [مطامح] صغيرة بالفعل.

تشير الإجابة الثالثة إلى كل الطرق التي قد يمر بها الأكسجن قبل أن يمكن تحريره إلى الهواء والماء. يتفاعل الأكسجن مع الكبريتيد ومركَّبات الحديد ليُكوِّن الكبريتات وأكسيد الحديد (الصدأ). وبما أن المحيطات المبكرة كانت مُشْبَعةً بتلك المركبات، فلا بد أن هذه التفاعلاتِ قد استهلكَتْ كل جزيء أكسجن فائض تقريبًا مما أُنْتِجَ على كوكب الأرض المبكر. ربما قد احتاج الأمرُ مئات الملايين من السنين قبل أن تبدأ كمياتٌ كبيرة من الأكسجن المُحرَّر في التراكم في الهواء والماء. لكنْ هل استغرق الأمرُ ما يقارب الثلاث ملياراتِ عامٍ (من 5 ,3 مليار عام ماضٍ حتى 5 ,0 مليار عام ماضٍ)؟ هذا يبدو زمنًا طويلًا!

الإجابة الرابعة هي أن يكون البناء الضوئي (وإنتاج الأكسجن) كان أبطأ بكثير مما قد نتصوَّر. السبب هو عملية جيولُجية كيميائية أخرى تفاعلت فيها الحياة وكوكب الأرض لمليارات السنوات. فالبناء الضوئي لا يحتاج فحسب الضوء والماء وثاني أكسيد الكربون، فالنباتات أو البكتيريا التي تقوم به تحتاج كذلك موادًا مغذِّيَةً. وفي كثير من البيئات، يكون الفسفور هو المادة الغذائية المقيِّدة [المحدودة]، (والكثير من أسمدتنا تحتوي على الفسفور).

يأتي الفسفور في معظمه من القشرة الأرضية القاريَّة، وقد كانت قارّات الدهر السحيق صغيرة. بالتالي فعلى الأرجح كانت إمدادات الفسفور محدودة، خاصة في الأسطح الفسيحة لمحيطات الدهر العتيق. بالإضافة إلى ذلك، تمتص معادنُ مركّبات الحديد بعضَ الفسفورِ بينما هي تتكون، بالتالي فقد استهلكت تكوينات الحديد الحزامي وحبَسَتْ الكثيرَ من الفسفور وكذلك الكثير من الحديد. بالتالي فقد أبطأ نقص الفسفور من نمو السيانوبكتيريا، مما أبطأ عملية البناء الضوئي، مما أبطأ بدوره إنتاجَ تكوينات الحديد الحزامي. التجوية والتآكل من جديد زوَّد ماءَ المحيطِ بإمداداتٍ جديدة من الحديد والفسفور،

مُمَهّدًا السبيلَ لحدَثِ تكوين تكوينات حديد حزامي جديدة والتي أزالت الفسفور وكذلك الحديد. هذا في إجماله أبطأ على نحو درامي [كبير] ملأ كوكبِ الأرضِ بالأكسجِن، كما ساعد على التسبب في الدورات [أو الحلقات] الكبيرة التي يتسم بها إنتاج تكوينات الحديد الحزامي.

وصل إنتاج تكوينات الحديد الحزامي إلى ذورته عند حوالي 5 ,2 مليار سنة ماضية، ثم تضاءل باستمرار حتى 8 ,1 مليار سنة ماضية. وبينما ضعُفَ معدَّلُ تكوين تكوينات الحديد المشرَّط [الحزامي]، بدأ الأكسجن المحرَّر يتراكم في الغلاف الجوي والمحيطات بكميات ثابتة لكنها منخفضة جدًّا. إن تكوينات الحديد الحزامي نادرة بعد حلول ملياري عام ماضية، حيثُ وصلت مستويات الأكسجن في المحيطات إلى مستوى ثابت عالٍ بدرجة لم تعد تستطيع مياه البحر معها أن تذيب الحديدد ولم يعد يمكن تكوين تكوينات الحديد الحزامي، ما عدا في بِرَكٍ معزولة نادرة.
تُثبِتُ أدلة جيولُجية أخرى حدوث امتلاء الغلاف الجوي والمحيطات بالأكسجن مبكرًا في دهر طلائع الحياة. فمركب معدن اليورانيت لا يمكنه التواجد لفترة طويلة إذا تعرض للأكسجن، وهو لا يوجد في صخور أحدث من زمن حوالي 3 ,2 مليار سنة ماضية. تدل نظائر الكبريت في الصخور على أن مستويات الكبريتات ازدادت، فخفَّضَت إنتاجَ الميثانِ من جانب العتيقات، بينما كان الميثان الذي تنتجه يتفكك سريعًا بفعل الأكسجن الحر. حدث هذا التغير فيما بين 4 ,2 مليار و1 ,2 مليار عام ماضٍ، ربما مع تغير سريع منذ حوالي 3 ,2 مليار عام ماضٍ.

بدوره، انخفاض مستويات الميثان في الغلاف الجوي برَّدَ كوكبَ الأرض، ونرى أدلةً على عصر جليدي كبير جدًّا فيما بين 4 ,2 مليار و2 ,2 مليار عام ماضٍ.

وعلى اليابسة، تسبب وجودُ الأكسُجِنْ في الهواء لأول مرة في صدأ أي مركبات معادن حديدية مكشوفة على السطح بفعل التجوية. جرت الأنهار حمراءَ في تدفقها عبر سطح كوكب الأرض قبل أن تغزو الحياة النباتية [الخُضْرَةُ] اليابسةَ. تؤرَّخ الطبقات الحمراء أو الرواسب التي تحمل أول جزيئات أكسيد الحديد _على اليابسة وفي البحار الضحلة_ بتاريخ منذ حوالي 3 ,2 مليار عام ماضٍ.

تُنتِجُ عمليةُ البناءِ الضوئيّ الأكسجنَ قربَ سطح المحيط، لأن هذا هو أقصى ما يستطيع الضوء الصالح للاستعمال اختراقَه من ماءٍ. لنفس السبب (الطاقة الشمسية)، فإن المياه السطحية أدفأ من طبقات المياه الأعمق، لذلك فإن الماء أقل كثافةً [على أسطح المحيطات]. لذلك تميل مياه السطح إلى البقاء على السطح، فيما ظلت معظم كتلة المحيط بدون أكسجِن [في ذلك العصر القديم]. في محيطات العصر الحالي، الأماكن الوحيدة التي يمكن للمياه السطحية أن تغطس فيها هي حيثُ تصير كثيفةً على نحوٍ غير عاديٍّ؛ وهذا لو صارت باردةً جدًّا، أو مالحةً جدًّا، أو كليهما. وهذه المناطق هي في البحار القطبية، في القطب الشمالي والقارة القطبية الجنوبية، وفي البحار المداريّة الضحلة كالبحر الأحمر والخليج الفارسي–العربي.

في العصر الحالي، تغطس كمية كافية من مياه الأسطح لتَحمِل الأكسجنَ لكل عالم المحيطات تقريبًا. لكن الأمر كان مختلفًا في دهر الحياة البدائية [طلائع الحياة]. فعلى نحو واضح، صارت مياه الأسطح غنية بالأكسجن قبل أن تصير كتلة المحيط كذلك. وقد صار الغلاف الجوي [الهواء] _والذي يمكنه تبادل الغازات مع مياه الأسطح_ حاملًا للأكسجن قبل أن يصير عمقُ المحيطِ كذلك. نستطيع تصورَ العالَم في دهر طلائع الحياة ليس فيه أكسجن حر ما خلا في المياه السطحية والهواء. كانت المياه العميقة لا تزال غنية بالحديد المذاب والسِلِكا والكبريتيد، وتسكنها البكتيريا والبكتيريا منتِجة الميثان methanogens، بينما كان بالمياه السطحية الميكروبات القائمة بالتركيب الضوئي والمتحملة للأكسجِن. في مثل ذلك العالَم، تسببت حوادث غطس مياه الأسطح في ترسب الحديد المذاب من تلك المياه العميقة ليكوّن تكوينات الحديد الحزامي، وذلك بعد زمن طويل من تشبع السطح بالأكسجن.

كل هذه التغيرات تُسوّغ مصطلحَ ثورة الأكسجن؛ لأجْلِ الأحداث التي حدثت منذ حوالي 3 ,2 مليار سنة إلى 2 ,2 مليار سنة ماضية. غيرت هذه الثورةُ الطبيعةَ الكيميائية لهواء ويابسة وماء كوكب الأرض إلى الأبد. كانت إحدى النتائج الغير مباشرة حيويةً للمزيد من تطور الأشياء الحية. تعمل الأشعة فوق البنفسجية الشمسية على أي أكسجن حر مرتفع في الغلاف الجوي لتنتج الأوزون، والذي هو O3، بدلًا من O2. حتى طبقة رفيعة جدًّا من الأوزون تستطيع حجبَ معظمِ الأشعةَ فوق البنفسجية. وُقِيَ سطح كوكبِ الأرض _سواء اليابسة والماء_ من الأشعة فوق البنفسجية الضارة باستمرار منذ انضاف الأكسجن الحر إلى الغلاف الجوي. بعد ذلك صار ممكنًا أن تتطور كائناتٌ متعضية أطول عمرًا وأكثر تعقيدًا من البكتيريا والعتيقات، وهي حقيقيات الأنوية [التي توجد مادتها الوراثية داخل نواة أو أكثر محاطة بغلافين نووين يفصلانها عن الريبوسومات داخل الخلية] (انظر الفصل الثالث).

الفصل الثالث

الجنس والأنوية الوراثية: حقيقيات الأنوية

تختلف بدائيات الأنوية prokaryotes (كل العتيقات والبكتيريا الحية) على نحو أساسي عن حقيقيات الأنوية eukaryotes (كل الكائنات المتعضية الأخرى، مملكة حقيقيات النواة Eukarya). (انظر الشكل التوضيحي ٣– ١، والمستطيل التلخيصي ٣– ١). لقد بدأت الحياةُ بالمتعضيات بدائية النواة، بالتالي فلا بد أن تكون حقيقيات النواة قد تطورت من سلف بدائي النواة ما. من كان هؤلاء الأسلاف ذوي الأنوية البدائية، وكيف ومتى تطورت حقيقيات الأنوية منها؟

إن بدائيات الأنوية كانت ولا تزال ناجحة في مدى واسع على نحوٍ لا يُصدَّق من البيئات، من البِرَكِ النَتِنة إلى الأمعاء الخلفية [أو الأمعاء المؤخَّرة] للأَرَضة ["النمل الأبيض"]، ومن الينابيع الساخنة في أعماق المياه إلى الصحراء الثلجية في القارة القطبية الجنوبية، وفي أعماق الصخور تحت الأرض. إنها توجد بأعداد بمتوسط ٥٠٠ مليون في اللتر في المياه السطحية للمحيطات، ومليار في اللتر في الماء العذب، وحوالي ٣٠٠ مليون على جِلد الإنسان في المتوسط. هذا التنوع يجعل من الصعب البحث عن أسلاف ممكنين بشكل معقول لحقيقيات الأنوية بينها.

التكافل التعايشي والتعايش الداخلي

التكافل هو علاقة يعيش فيها كائنان متعضيان مختلفان معًا. وغالبًا ما يحصل كلاهما على فائدة من تلك التسوية. تتنوع الأمثلة من التكافل بين البشر والقطط إلى العلاقات العجيبة كتلك الخاصة بنباتات شجر السنط [الأكاسيا، الصمغ العربي]، والتي تُضيف وتُطْعِم مستعمراتِ نملٍ والتي بدورها تحمي السنطَ من الحيوانات والحشرات آكلة النباتات]. أقصى حالة من التكافل هي التعايش الداخلي، وهي علاقة يعيش فيها كائنٌ متعضٍ داخل شريكه. تستطيع حيواناتٌ متنوعة كالأَرَضة وسلاحف البحر والماشية أنْ تعيشَ على المواد النباتية لأنها [الحيوانات] تحتوي على بكتيريا في مكانٍ ما من الجهاز الهضمي لكلٍ منها والتي هي ذات إنزيمات تفكك السليلوزَ الذي لا يتأثر بعُصاراتِ المُضيفِ الهضمية. الكثير من الكائنات المتعضية الخاصة بالشُعَب البحرية المداريَّة لها شركاء تكافليون في شكل كائنات متعضية مِجهرية قائمة بالبناء الضوئي. وإذْ تعيشُ داخلَ أنسجة المرجان أو البطلينوس الضخم giant clams or limpets [حيوان رخوي لا فقاري يعيش في صدفة ويلتص بالصخور ويُصطاد على الشواطئ الرملية كطعام، يُعرَف أيضًا باللُزَّيَق أو اللصوق أو الفينوس]، فإن هؤلاء الشركاء التكافليون يمتلكون مكانًا آمنًا للعيش. وبدوره في المقابل، يتلقى المضيفُ نصيبًا من إنتاجها الخاص بالبناء الضوئي.

إنه لواضحٌ الآنَ أن التعايش الداخلي كان حاسمًا لنشوء وتطور حقيقيات الأنوية. لقد امتلكت أسلافُ خطٍّ تحدُّرٍ مملكة حقيقيات الأنوية بنية بدائيات الأنوية، وربما كانت مجموعة قديمة من الكائنات المتعضية كالبكتيريا والعتيقات. لقد عثرنا على متحجراتِ موادٍ كيميائيةٍ _جزيئاتٍ تُدعى بالستيرولات يُفتَرَض أنها تكوِّنها الكيمياء الحيوية الخاصة بحقيقيات الأنوية فقط_ بزمن يصل إلى 7 ,2 مليار عام ماضٍ. لا أحد سيدَّعي أن هذه قد صنعتها حقيقيات الأنوية، لكنها يُرجَّح أن تكون متحجرات مواد كيميائية خاصة بسلفٍ لحقيقيات الأنوية.

ففي مرحلة معيَّنة، قام بدائي النواة سلف لحقيقيات النواة بقفزة تطورية درامية [كبيرة مفاجئة]؛ فقد حصل على العُضيَّات organelles [الجزء البنيوي والوظيفي الخاص بالخلية، مميزًا عن مكونات سَيْتوبْلازْم الخلية، والمحاط عادة بغشاء، كالأنوية والميتوكندريوات والكلوروبلاستيدات والشبيكة الهيولية أو الإندوبلازمية، أو بدون غلاف كالريبوسومات] في شكل بدائيات أنوية أخرى أتت لتعيش فيها (كمتعايشات داخليًا)، وبفعلها ذلك صارت حقيقية النواة بدلًا من بدائية النواة. لقد كانت الميتوكندريا والبلاستيدات وربما حتى سوط الحركة ذاتَ مرةٍ بكتيريا حية حرّة مستقلة، لكنها صارت مرتبطة على نحو وثيق مع مضيفٍ بدائيِّ النواة (سلف لحقيقيات النواة أو حقيقي النواة سلفي) التي صارت آخر الأمر _من الناحية العملية وفي الحقيقة_ جزءًا منها. (الشكلان التوضيحيان ٣–١، و٣– ٢). توجد على الأقل خمس أدلة رئيسية تبرهِن أن العُضَيَّات (وبالتالي حقيقيات الأنوية) نشأت عن طريق التعايش الداخلي (انظر المستطيل التوضيحي ٣– ٢).

الميتوكندريا وأسلافها

كيف وصل بكتيريوم [مفرد بكتيريا] ميتوكندري بدائي إلى داخل خلية سلف حقيقيات الأنوية؟ يوجد سيناريوهان حاليان لا يختلفان كثيرًا جدًا. يفترض كلاهما أن سلف حقيقيات الأنوية طوَّرَتْ جدارَ خليةٍ مرنًا على نحوٍ كافٍ لابتلاع الخلايا الأخرى. كمثال، ربما قد يكون سلف حقيقيات الأنوية قد ابتلع بكتيريا لكي يهضمها. مع ذلك، فلو أنه ابتلع بكتيريوم يستطيع أكسدة فضلاتِه الناتجة وإطلاق بعض السعرات الحرارية مُجدَّدًا لسلف حقيقيات الأنوية، فإن

سلف حقيقيات الأنوية كان سيستفيد بعدم هضمه للبكتيريوم، بل بالاحتفاظ به كضيف حي داخلي (ساكن أو عبد، لو أردتَ القولَ). صارت البكتيريا ساكنة على الدوام وتنقسم داخل المضيف كميتوكندريا.

أو ربما بدأت الخلايا أسلاف حقيقيات الأنوية والبكتيريا علاقتها ليس كمفترس وفرائس أو متطفلين وفريسة مضيفة، بل كجيران يعيشون بجوار بعضهم في تواصل وثيق، في تكافل تعايشي *خارجي*. كلٌّ ينتج موادًا يستطيع الآخرُ استعمالها. آخر الأمر، استَوْعَبَ سلفُ حقيقياتِ الأنويةِ البكتيريا داخل أنسجته، محوِّلًا إياها إلى متعايشة تكافلية داخلية (عاملين في سكنٍ أو إقامة مشترَكة).

وصل سلف حقيقيات الأنوية والبكتيريا آخرَ الأمرِ إلى علاقة مستقرة عندما أقاما تحكمًا مُتبادَلًا مشترَكًا في التكاثر. فتنمو الخلايا المضيفة وتزدهر وتنقسم، وتأخذ كل خليةٍ ابنةٍ [ناتجة عن الانقسام] معها مستعمَرةً من البكتيريا. في مرحلة ما، فقدت البكتيريا المتعايشة تكافليًّا جدرانَها الخلوية وصارت ميتوكندريا، وصار يمكننا وصف المضيف بأنه حقيقيُّ النواةِ حقيقيٌّ.

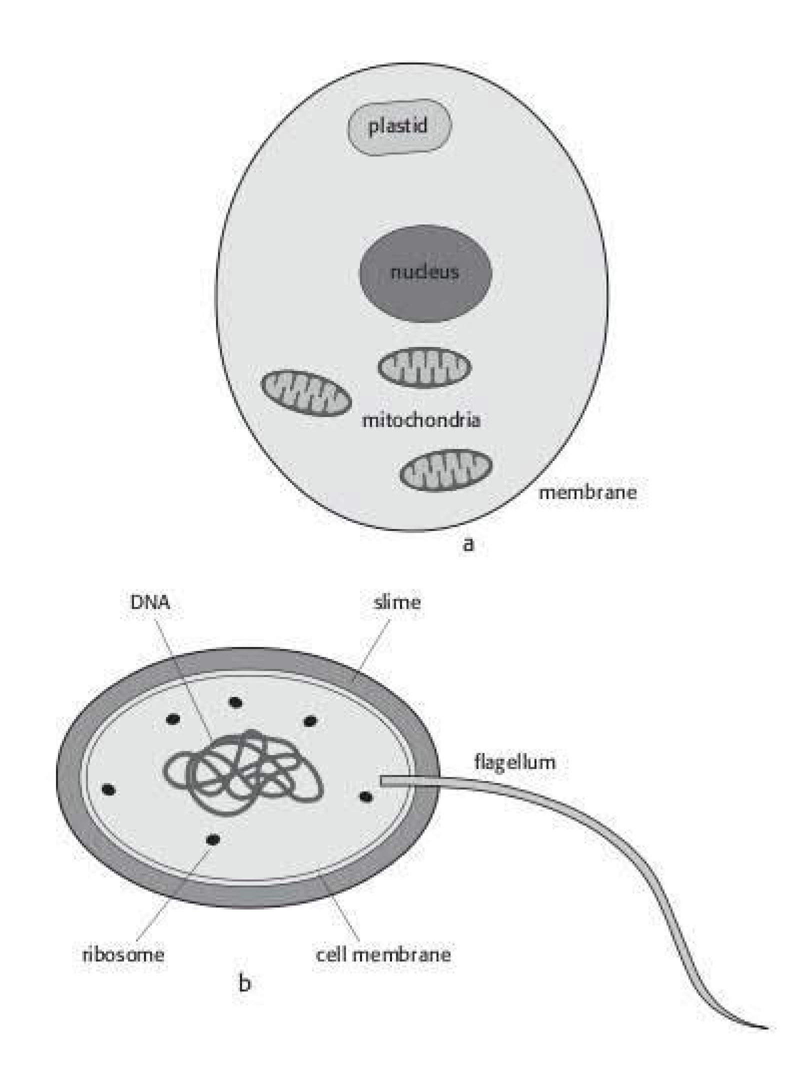
المسألة الحاسمة بالنسبة للميتوكندريا هي قدرتها على أكسدة الجزيئات. لقد ازداد مجموع طاقة مضيفها على نحو درامي [مفاجئ وكبير] بسبب ذلك (فقد كان يقوم بالتخمير)، ويُخصَّص جزءٌ من مجموع الطاقة هذا للميتوكندريا، بالتالي فكلا الطرفين يستفيد. وبينما تطورت حقيقيات الأنوية بحيث تعتمد بالكامل على ميتوكندرياها لتزوِّدها بثلاثي فوسفات الأدينوسين ATP، كان على عدد الميتوكندريات أن ينسجم على نحو وثيق مع احتياجات المضيف. بالتالي، فإن الجينات التي تتحكم في تكاثر الميتوكندريا مُرِّرَتْ إلى نواة المضيف [الوراثية]، تاركةً وراءها في الميتوكندريا (بقدر ما نستطيع أن نعرف) على نحو رئيسي الجينات التي تتحكم في الأكسدة التي تقوم بها في الخلية. لا يمكن أن تكون هذه العملية كانت بسيطة سهلة، ولا بد أنها عقَّدَتْها الجهود اللازمة لمقاومة التأثيرات السمية الخاصة بالأكسُجِن المُستلزَم للتنفس.

أيٌّ من هذين السيناريوهين يمكن أن يكون قد أَنْتَجَ الأَوَلِيّاتِ [البروتستا protists] والتي هي حقيقيات أنوية وحيدة الخلية. الأوليات البسيطة حيواناتٌ شبيهة بالأميبا، قادرة على التحرك والأكل عن طريق ابتلاع المتعضِّيات الأخرى. خُمِّرَ الطعامُ في السَيْتوبْلازْم وأُكْسِدَ في الميتوكندريا. نفس العملية تحدث في خلايا في العصر الحالي.

البلاستيدات

تقوم النباتات بالبناء الضوئي لِتَجمَعَ الطاقةَ. لكن البناء الضوئي النباتي لا يُقام به في سَيْتوبْلازْم الخلية، بل في عُضَيَّاتٍ، وهي البلاستيدات الخضراء [الكلوروبلاستات chloroplasts] أو البلاستيدات. اكتسبت بعضُ الأولياتِ المبكرةِ سيانوبكتيريا كشركاء متكافلين والتي [السيانوبكتيريا] تطورت إلى بلاستيدات (الشكل التوضيحي ٣- ٢)، على الأرجح بنفس الطريقة التي اكتسبت بها حقيقياتُ الأنويةِ الأوائلُ الميتوكندريا. تستفيد السيانوبكتيريا من المواد المغذية داخل أنسجة المضيف أكثرَ مما تستفيد كخلايا مستقلة. في زمن مبكر، صارت الأوليّات تعتمد للغاية على عملية البناء الضوئي الخاصة بشركائها، بحيث أقلعت عن صيد وابتلاع الخلايا الأخرى، وأقلعت عن التحرك، منمّيةً جدار خلوي سليلوزي قوي للحماية، واستقرّت في الضوء، واتَّخذَتْ طريقةً للحياة تترابط ذهنيًّا لدينا اليومَ مع "النباتات".

هذا سيناريو لتطور أول كائنات حقيقية الأنوية قائمة بالتمثيل الضوئي (الطحالب) (الأشكال التوضيحية ٣- ٢، ٣- ٣). منذ ذلك الحدث، صار تفرُّعُ النباتات والحيوانات أحد أهم التفريعات في عالَم الكائنات المتعضية. إننا نضع النباتات المتطورة والحيوانات المتطورة في مملكتين مختلفتين؛ فالحيوانات تأكل النباتات وأحدهم يأكلُ الآخَرَ.



(أ) بنية حقيقيِ النواة وبها عُضَيَّات كالميتوكندرياوات والنواة ولها غشاء، و(ب) بنية بدائي النواة بها المادة الوراثية بلا غلاف حرة وللخلية غلاف غروي. حقيقي النواة أكبر بكثير من بدائي النواة.

المستطيل التلخيصي ٣– ١: الفروق بين بدائيات الأنوية وحقيقيات الأنوية

١– حقيقيات الأنوية يكون الـDNA [الحمض النووي مزدوج الجديلة] الخاص بها مُغلَّفًا بغشاء، وتحت المِجْهَر [الميكروسكوب] يبدو هذا المُغلَّف أو الحزمة كجسيم متمايز، وهو النواة. أما بدائيات الأنوية فإن لديها الـDNA الخاص بها حرًّا في سَيْتوبْلازْم الخلية.

٢– ليس لبدائيات الأنوية تقسيمات أصغر خاصة بالخلية، أما كل حقيقيات الأنوية تقريبًا فتمتلك عُضيَّاتٍ organelles وكذلك نواةً. العُضَيّات هي وحداتٌ أو أقسامٌ أصغرُ خاصةٌ بالخليةِ مُحاطٌ كلٌ منها بغشاء وتقوم بوظيفة خلوية معيَّنة ما. كمثال، فإن البلاستيدات هي عضيات تقوم بالبناء الضوئي داخلَ الخليـة، مُنتِجةً جزيئـاتِ الطعـامِ ومُطلِقةً الأكْسُجِن. والميتوكندريا تحتوي على إنزيمات تنفسية خاصة بالخلية. تُخَمَّرُ المـوادُ الغذائيـة أولًا في السَيْتوبْلازْم، ثم تُمَرَّرُ إلى الميتوكندريا للتنفس. تُنتجُ الميتوكندريا ثلاثي فوسفات الأدينوسين ATP حينما تُفَكِّكُ جزيئات الغذاء إلى ماء وثاني أكسيد الكربون CO2، وتُعطي الطاقةَ والفضلاتِ الناتجةَ إلى بقيةِ الخلية. وهي تصنع أيضًا الستيرويدات steroids، والتي تساعد في تكوين أغشية الخلية في حقيقيات الأنوية وتعطيها مرونة أكثر بكثير من أغشية بدائيات الأنوية.

٣– تستطيع حقيقيات الأنوية القيامَ بالتكاثر الجنسي، والذي يُخْلَطُ فيه الـDNA الخاص بخليتين ويُعاد توزيعُه إلى توليفات جديدة.

٤– لا تمتلك بدائياتُ الأنويةِ جدرانًا خلويةً مرنة، لذلك لا تقدر على التمدد لتبتلعَ خلايا أخرى. إن مرونة الأغشية الخلوية الخاصة بحقيقيات الأنوية تمكنها من ابتلاع جُسَيماتٍ كبيرة، ومن تكوين فجوات [مسامّ أو ثُقَيْبَات] خلوية، ومن التحرك بحرية. إن الخلايا النباتية _مصفَّحةً بالسليلوز_ هي حقيقيات الأنوية الوحيدة التي تخلت [وتتخلى] عن الجدار الخلوي الخارجي المرن لمعظم حيواتها.

٥– تمتلك حقيقياتُ الأنويةِ نظامًا جيد التنظيم لنَسْخِ [مضاعفة] الـDNA الخاص بها بدقة إلى نسختين أثناء انقسام الخلية. هذه العملية _التي تُعرف بالانقسام الخيطي [أو الفتائليّ]_ أعقدُ وأدقُّ بكثيرٍ جدًّا من الانقسام البسيط الموجود في بدائيات الأنوية.

٦- حقيقيات الأنوية دائمًا تقريبًا أكبر من بدائيات الأنوية. إن الخلية الحقيقية النواة أكبر نمطيًّا عشر أضعافٍ في قطرها، لكن هذا يعني أن لديها ألفَ ضِعْفِ حجمِ الخلية الخاصة ببدائي النواة.

٧- تمتلك حقيقياتُ الأنويةِ ربما ألفَ ضعف الـDNA الذي تمتلكه بدائيات الأنوية. وهي تمتلك نُسَخًا مضاعَفَة متعددة من الـDNA الخاص بها، مع تكرار للتسلسلات أكثر. أما محتوى الـDNA الخاص ببدائيات الأنوية فهو صغير، ولديها نسخة واحدة فقط منه. وليس هناك مساحة كبيرة لتخزين أوامر "إذا...فمن ثمَّ" في البرامج الوراثية [الجينية] والتي تشغِّل جيناتٍ مقابِلَةً [مختلفة معارِضة] لأخرى. بالتالي، فإن التنظيم الجيني ليس متطورًا جيدًا في بدائيات الأنوية، ما يعني أنها لا تستطيع إنتاجَ الخلايا المتمايِزة [المتباينة المختلفة] التي نستطيع نحن وحقيقيات الأنوية الأخرى إنتاجَها. إن المستعمرات المتعددة الخلايا الخاصة بالبكتيريا مصنوعة بالكامل من نفس نوع الخلية، مُكرَّرةً مراتٍ كثيرةً في مُستعمَرةٍ. لذلك، فإن أيَّ نوعِ بكتيريوم [مفرد بكتيريا] يكون جيدًا جدًّا في شيء واحد لكنه لا يستطيع القيام بأشياء أخرى؛ ومدى تنوع وظائفه ضيِّق.

المستطيل التلخيصي ٣- ٢ الأدلة على التكافل بين العُضَيَّات وسلفِ حقيقياتِ الأنويةِ

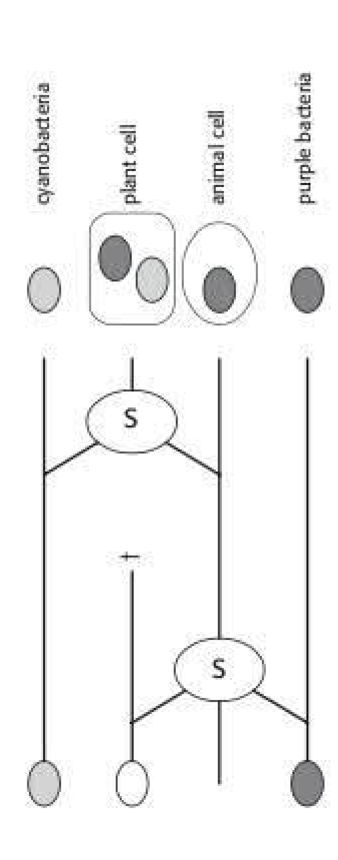
١- الـDNA في الميتوكندريا والبلاستيدات ليس كالـDNA الذي في نواة الخلية الحقيقية النواة.

٢- الميتوكندريا والبلاستيدات مفصولة عن بقية الخلية الحقيقية النواة بأغشية؛ بالتالي فإنها في الحقيقة بمثابة كأنها خارجَ الخلية. فالخلية نفسها تصنع غشاءً [لنفسها يحيط بها]، لكن داخلها غشاء ثانٍ يُفْرِزُه العُضَيُّ the organelle.

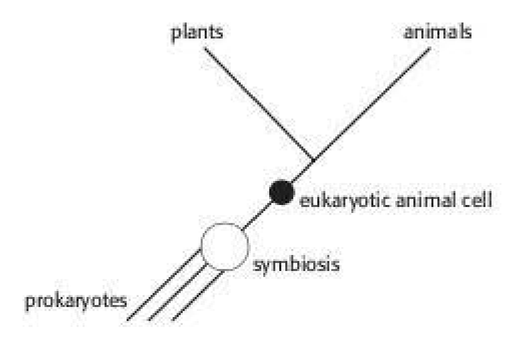
٣- تصنع البلاستيداتُ والميتوكندريا وبدائيات الأنوية البروتيناتِ بطُرُق كيميائية حيوية متشابهة، والتي تختلف عن تلك التي في سَيْتُوبْلازْم حقيقيات الأنوية.

٤- الميتوكندريا والبلاستيدات تتأثر بالستربتومَيْسِينْ والتتراسَيكْلِينْ streptomycin and tetracycline [مضادات حيوية تثبِّط ترجمة الـmRNA في بدائيات الأنوية]، وكذلك تتأثر بدائيات الأنوية؛ أما سَيْتوبلازْم حقيقيات الأنوية فلا يتأثر بهذين العقارين.

٥- تستطيع الميتوكندريا والبلاستيدات التضاعفَ بالانقسام فقط؛ فلا يمكن أن يَصنعَها سَيْتوبْلازْم الخلية. بالتالي فإن العُضَيَّات تمتلك آليتها المستقلّة للتكاثر. إن الخلية التي تفقد ميتوكندرياها أو بلاستيداتها لا تستطيع صُنعَ المزيدِ منها.



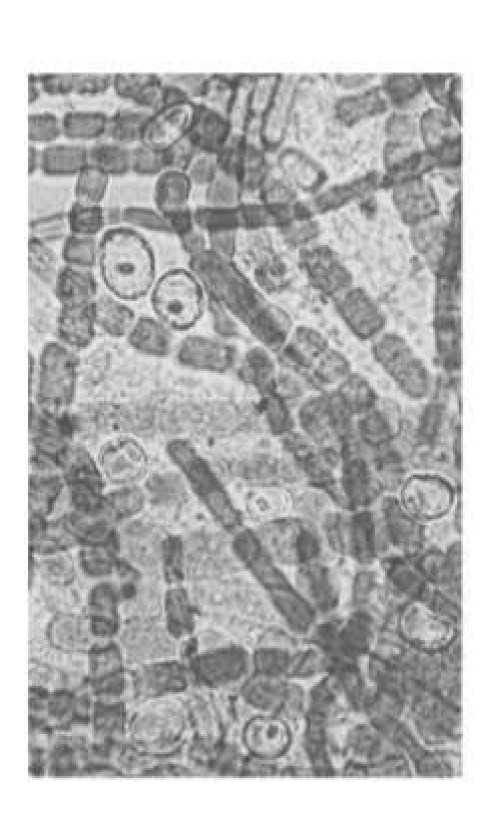
الشكل التوضيحي ٣- ٢ كانت البلاستيدات والميتوكندريا قديمًا خلايا حية حرّة حتى صارت متعايشة متكافلة داخليًا داخل خلايا أخرى. يشير الرمز إلى أحداث التكافل التعايشي. ويشير اللون الفاتح إلى البلاستيد والغامق إلى الميتوكندريا، وتنتهي فروع المتحدرات بالسيانوبكتيريا والخلايا النباتية والخلايا الحيوانية والبكتيريا البنفسجية.



الشكل التوضيحي ٣- ٣ يقترح هذا الرسم التخطيطي أن النباتات تطورت من خلايا حيوانية، مثلما يقترح الشكل ٣- ٢. لقد كان أسلاف كلا المجموعتين وحيدات خلية، وحدث التفرع [الانتواع] بينهما أيضًا ضمن الأوليَّات [أو البروتستا].

حقيقيات النواة في السجل الأحفوري

إن نظرية التعايش الداخلي مقنِعة، لكنها مُقامة على أدلة بيولُجية وجزيئية. إنه لا يَسهُل معرفة كيفية إمكان اختبارها في السجل الأحفوري، أو كيفية تحديد متحجرات حقيقيات الأنوية الأوائل [الأُوَلَيَاتِ]. معظم متحجرات الخلايا هي أشياء كرويّة صغيرة بدون سمات مميَّزة. رغم أن معظم حقيقيات الأنوية أكبر من بدائيات الأنوية، فإن بعض أنواع البكتيريا قريبة من الحجم العادي لخلية حقيقية النواة. إنه يستحيل تقريبًا تمييز البكتيريا الكبيرة المتحللة من حقيقيات الأنوية الصغيرة المتحللة. بعد موتها، يمكن أن تتخذ المكوِّنات الخلوية الخاصة ببدائيات الأنوية شكل بقع أو نقط مظلِمة تبدو مثل العُضَيّات أو الأنوية المتحجِّرة (الصورة ٣- ٤). يمكن أن تبدو المستعمرات المتعفنة الخاصة بالسيانوبكتيريا مثل حقيقيات الأنوية المتعددة الخلايا، ويمكن أن تبدو البكتيريا الخيطية مثل الخيوط الفطرية. وختامًا، فقد كانت حقيقيات الأنوية على الأرجح صغيرة ورقيقة الجدران، وبالتالي فإن حفظها كمتحجرات غير مُرَجَّح إلى حد بعيد.



الصورة ٣- ٤ القليل من الخلايا الميتة المتعفن بين هذه السيانوبكتيريا الحية تبدو كما لو أنها تمتلك عضيات أو أنوية داخلها. لقد انفصلت الخلايا خارج سلاسلها وانتفخت إلى شكل كروي، واتخذت محتوياتها المتعفنة رقعًا ونقطًا مظلمة. بالتالي فإننا لا نستطيع تحديد البقع والنقط في الخلايا المتحجرة على أنها عُضيّات أو أنوية، حتى لو كانت كذلك. (الصورة بتكرم من Andrew Knoll، جامعة هارڤارد)

إن علينا أن ننظر في السجل الجيولُجي ونفسره بأفضل ما نستطيع. لا يمكن أن تكون حقيقيات الأنوية قد تطورت قبل أن يصير الأُكْسُجِن مكوَّنًا ثابتًا في ماء البحر. ستكون المشكلة الرئيسية [أو الكبيرة] هي تحديدها بلا التباس وبوضوح بأنها حقيقيات الأنوية.

إن أفضل مرشح كأقدم حقيقي نواة [معروف] هو Grypania spiralis، وهي متحجرات شبيهة بالشرائط بعرض ٢ مليمتر وبطول يفوق ١٠ سنتيمرات. إنها وفيرة في الصخور منذ حوالي ١٤٠٠ مليون سنة ماضية في الصين ومونتانا، لكنها قد صُوِّرَتْ أيضًا من تكوينات الحديد الحزامي في ولاية ميتْشِجَن يُؤَرَّخ بـ ٢١٠٠ مليون عام ماضٍ. تبدو Grypania مشابهة جدًّا للعشب [الطحلب] البحري النصلي، وهو طحلب من حقيقيات النواة. لو كان ذلك صحيحًا، فمن ثم تكون الطحالب قد تطورت عند أو قبل ٢١٠٠ مليون عام ماضٍ، ولو كانت الصورة ٣– ٣ صحيحة، تكون حقيقيات الأنوية الأبسط قد تطورت قبل ذلك، حتى بينما كانت الكميات الرئيسية من تكوينات الحديد الحزامي لا تزال تترسَّب. يبدو كما لو أن حقيقيات الأنوية تطورت بمجرد أنْ مكَّنَتْها مستويات الأكسُجِن من ذلك.



متحجرات لـ Grypania spiralis التي قد تكون أقدم حقيقي نواة معروف

التطور والانتخاب الطبيعي

تنمو الأشياءُ الحية باستعمال المعلومات المُشفَّرة في الأحماض النووية التي وَرَثَتْها من الخلية الأم التي انقسمت إلى اثنتين في حَدَثِ نَسْخٍ [تضاعُفٍ]. تحدِّد الأحماضُ النوويةُ التوليفاتِ والتسلسلاتِ السليمة للبروتينات التي ستتكوَّن، بحيث يمتلك الكائنُ المُتَعَضِّي النامي بِنْيةً ونظامًا حيويًّا كيميائيًّا سليمًا. لكن الكائن المتعضي يعيش في عالَمٍ مُتَقَلِّبٍ، لذلك فقد تكون الظروف في صالح نموه ونجاحه أو ليست كذلك. قد لا تبقى حيةً للتضاعف، أو قد يكون لها تضاعفاتٌ ناجحةٌ أقلُ من الخلايا المنافسة.

تحدُث طفرةٌ [وراثية] إذا تضرَّرَ الحمضُ النووي. قد تُسبِّبُ الطفرةُ تغيُّرًا في بروتينٍ مُشفَّرٍ في تسلسل الحمض النووي. قد يكون للبروتين "الغلط" أو المُطفَّر تأثيرًا كبيرًا على الكائن المتعضّي إن كان مهمًّا جدًّا، أو قد يكون تأثير التغيُّر ثانويًّا للغاية بحيث يكون غيرَ مهمٍّ [تافهًا]. على الأغلب _ لكن ليس دائمًا_ يكون الأفرادُ ذوو التغيراتِ الكبيرة غيرَ ملائمين للبيئة، ويفشلون في نَسْخِ أنفسهم والـDNA المتغير الخاص بهم. رغم ذلك، فكثيرًا ما تُمَكِّنُ الطفراتُ المحدودة ذاتُ المدى الضيقِ حامليها من البقاء والتكاثر، بالتالي فإن التباين في الـDNA وفي شكل ووظيفة الكائنات المُتَعَضّية يمكن أن يزداد مع الزمن في تعداد المجموعة. تؤدي الطفراتُ إلى ظهور مُتَحَدِّرات يختلفن عن أسلافهن وبالتالي يُرَجَّحُ أنْ تكون أفضلَ أو أسوأَ ملاءمةً لبيئتها. يُرَجَّحُ أن تؤثِّرَ على النجاحِ في التضاعف.

تتكاثر بدائياتُ الأنوية في الأغلب وعلى نحو مهيمن بالانقسام (الاستنساخ أو النَسْخ). لكن معظم بدائيات الأنوية قادرة على الاقتران بأفراد آخرين وتبادل أجزاء صغيرة من الـDNA. هذه عمليةُ نقلٍ جينيٍّ، وتُدعى العمليةُ بالاقتران أو التكاثر الاقتراني. على نحو واضح، يمكن أن تُسَبِّبَ هذه العمليةُ اختلافًا كبيرًا هامًّا في المحتوى الجيني للخلية (جينومها)، للأفضل أو الأسوإ. كمثال، يمكن أنْ تَحدُثَ الكثيرُ من المشاكل الطبية الشديدة إنْ يَكتسِبْ بكتيريومٌ جينَ مقاومةٍ لعقارٍ، ويعتمد الأمر على ما إذا كنتَ بكتيريومًا أم مريضًا مُتَطَفِّلًا عليه [عائِلًا] فيما يتعلق بما إذا يكون هذا للأفضل أو للأسوإ. إنه لَسليمٌ أن يُسْأَلَ كيف ومتى نشأ التكاثر الاقتراني؛ فبالتأكيد تَكْشِفُ جينوماتُ البكتيريا عن حقيقةِ أن النقل الجيني قد حدث كثيرًا على نحو كبير جدير بالملاحظة في الماضي، حتى بين متعضيات بعيدة العلاقة.

هذا السؤال هو تقريبًا نفس سؤالٍ آخرَ يمكننا أن نسألَه. إن التكاثر الجنسي في حقيقيات الأنوية هو على نحو رئيسي تكاثر اقتراني منظَّم بدرجة عالِيةٍ جدًّا، والذي فيه يُخلَط ويُعاد توليفُ كاملِ جينومات الخلايا الجنسية الخاصة بفردين بالكامل (في عملية إعادة توليف أو ترتيب الجينات

recombination). أحيانًا يقومُ فردٌ _بدائيُّ النواة أو حتى حقيقيُّ النواة_ ببساطة بعمل مستعمَرات خلوية [نسخ تامة متجانسة من نفسه، نسخ متطابقة] من نفسِه، في عملية نَسْخٍ أو تكاثر لا جنسي. رغم ذلك، فعادةً تتعاون حقيقيات الأنوية لإنتاج فردٍ جديدٍ ذي خليطٍ من الأحماض الأمينية من كلا الوالدين، في التكاثر الجنسي. وبينما يكون الفرد الجديد الذي ينمو كنتيجة للتكاثر الجنسي مشابِه جينيًّا لأبويه، فإنه غير متطابق مع أيٍّ منهما. إن التكاثر الجنسي _وإعادات توليف الجينات التي تحدث خلاله_ لا تُدْخِلُ أيَّ مادة وراثية [جينية] جديدة إلى المجموعة السكانية، لكنها تُنْتِجُ إعادات توليف جديدة فريدة للجينات والتي تُشَفِّرُ إنتاجَ فردٍ جديدٍ فريدٍ.

بالتالي، يؤدِّي التَطَفُّر والتكاثر الجنسي إلى إنتاج متعضيات مختلفة أحدها عن الآخر على نحو رائع، وبالتالي يُرَجَّحُ أن يكون لها مستويات نجاح مختلفة في التكاثر. العملية التي يترك فيها كائنٌ مُتَعَضٍ [ذو أعضاءٍ] مُعَيَّنٌ نسلًا أكثرَ أو أقلَّ نجاحًا من الآخر تُسمَّى بالانتخاب الطبيعي. الكثير من عومل الصُدفة تؤثِّر على بقاء أفراد مُعَيَّنين في مجموعة سكانية [في تعداد مجموعة]. لكنْ _على المدى الطويل_ ينجو ويبقى الأفراد الملائمون على نحو جيد للبيئة السائدة أحياءً لفترة طويلة بدرجة كافية لترك نسلٍ، بينما يموت الأفرادُ الغيرُ ملائمين بنفس درجة الجودة قبل أن يستطيعوا التكاثرَ، أو يتركون نسلًا أقل من الآخَرين. سيميل نسل الأفراد الناجحين نسبيًّا وبالمقارنة إلى أن يرثوا الصفاتِ التي جعلَتْ هؤلاء الآباءَ ناجحين، لذلك فإنهم بدورهم يُرَجَّحُ أنْ يتكاثروا على نحو ناجح إنْ ظلت الظروف البيئية هي نفسها. إن النجاح التكاثري المتفاوت _الناتج على نحو مباشر عن الانتخاب الجنسي_ هو الرابط الذي يربط بين الكائنات المتعضية وبيئاتها.

حتى العصر الحالي، عمل الانتخابُ الطبيعيُّ على الأشياء الحية لمليارات الأجيال، مُشتغِلًا على كل جيلٍ ليُحسِّن تدريجيًّا ويصقِل العلاقةَ بين الكائنات المتعضية وبيئاتها.

نشوء وتطور الجنس

بالتالي، من ثَمَّ، فلماذا [نشأ] التكاثر الاقتراني، ولماذا [نشأ] التكاثر الجنسي؟ إن كُلًّا منهما يُدْخِل تغيُّراتٍ كبيرة في الأنسال، وكثيرًا ما تكُون التغيرات الكبيرة _كالطفرات الكبيرة_ أخطاءُ كبيرة تُنتِجُ أفرادًا غير ناجحين.

على نحو طبيعي، فإن كل بدائي النواة هو ذريته الخاصة به، فإما أن يموت أو يتبرعم أو يتضاعف بالنَسْخ إلى خلايا بنات [خلايا ناشئة مُنتَجَة]. انقسام الخلية بسيط بالنسبة لبدائيات الأنوية. لا يوجد عُشَراء أو قُرَنَاء للعثور عليهم [للتكاثر]، أو عُضَّيات لتنظيمها. الخلايا البنات [الناتجة] هي مستعمَرات خلوية [نُسَخ مطابِقة]، لها نفس الـDNA مثل الخلية الأم، لذلك فهي متكيفة على نحو جيد بالفعل من قَبْلُ مع البيئة المجهرية. تغامر [تقامِر] بدائيات الأنوية أمام احتمال حدوث تغير في البيئة، فلو حدث تغيرٌ يقتل فردًا، فإن التغير سيُبيد على الأرجح جدًّا كل مُسْتَعْمَراتِ ذلك الفرد أيضًا. لا تمتلك حقيقيات الأنوية أي طريقة للتأثير على جيناتها المستقبلية أو تغييرها، ما عدا من خلال التكاثر الاقتراني الحادث من آنٍ إلى آخَرَ.

كثيرًا ما تتكاثر معظمُ حقيقياتِ الأنوية وحيدات الخلية _وبعض المعقَّدة متعددة الخلايا منها_ بالانقسام البسيط، مُسْتَنْسِخةً نسخًا متطابقةً من أنفسها. لعل الأميبا هي أكثر مثال مألوف شهير، لكنَّ المُرجان وحشرة الأَرَقة أو المَنَّة aphids [حشرة تمتص عصارات النبات] وثمار الفراولة وعُشْب بِرمودة [عشب من أعشاب المراعي] تستطيع استعمال هذه الوسيلة أيضًا.

رغم ذلك، ففي معظم حقيقيات الأنوية يُخلَط ويُعادُ توزيعُ الـDNA الخاص بفردين في نسلهما في التكاثر الجنسي. بالتالي يكون النسلُ مشابهًا لكنْ ليس مطابِقًا لوالديه. في الحقيقة، توجد احتمالية ضئيلة جدًّا لدرجة الاستحالة أنْ يَكُوْنَ أيُّ فردين متناسَلَيْنِ [مُنتَجَيْنِ] جنسيًّا متطابقَيْنِ جينيًّا، ما لم يكونا قد تنمَّيا من نفس البييضة، كما تفعل التوائم المتماثلة.

يشابه النسل الناتج عن التكاثر الجنسي والديه في كل السمات الرئيسية، لكنه يكون فريدًا في توليفاته الخاصة بالسمات الثانوية. يمتلك النوع المتكاثر جنسيًّا تباينًا وقابليةً للتغير الجيني متأصِّلة والتي كثيرًا ما تكون مفتَقَدةً في المُستعمَرَات الخلوية الانتساخية الخاصة بالبكتيريا. فيتنوع الأفرادُ في صفات

أجسامهم، وهذا كثيرًا ما يعني أن بعض الأفراد ملائمون على نحو أفضل قليلًا للبيئة من أفراد آخرين، ولذلك ينال احتماليةً أفضلَ للتكاثر. وهكذا فإن المجموعات المُفرَدة من الـDNA في هؤلاء الأفراد تكون مُمَثَّلةً على نحوٍ متباينٍ في المجموعات السكانية المستقبلية.

في المتعضيات التي تتكاثر بالاستنساخ، يمكن أن تنتشر طفرة مواتية مفيدة على نحو ناجح فقط لو أنها حدثت في فردٍ يتفوق في الانقسام على منافسيه. تنتخب البيئة أو تنبذ كامل حزمة الـDNA الخاصة بالفرد، والذي إما أن يتكاثر بالانقسام أو يموت. هذه فرصة تحدث مرة واحدة [كفرصة التصويب بطلقة واحدة]، والكثير من الطفرات التي كان يمكن أن تنجح من حيث الإمكانية قد تُفقَد لأنها تحدث في فرد تكون سماته الأخرى رديئة التكيف. رغم ذلك، فقد تُمكِّن طفرةٌ مواتيةٌ أحدَ الأفراد من ذلك النجاح بحيث يفوق هو ومستعمرتُه الانتساخيةُ كلَّ الآخَرين، مما يجعل المجموعةَ السكانية مُوَحَّدةً رغم أنها قد تحتوي على جينات سيئة رديئة مع الجيدة. قد تكُون المجموعات السكانية المُوَحَّدة من الخميرة مرغوبًا بها لخبَّازٍ أو صانع جِعَة [بيرة]، لكنْ في الطبيعة قد يَسْهُل أنْ تُبادَ مجموعةٌ سكانية موحَّدة بفعل التغيرات في البيئة.

على خلاف ذلك، فإن الطفرة في فردٍ متكاثرٍ جنسيًّا تُخْلَطُ في توليفة مختلفة في كل فرد من نسله. كمثال، فإن محّارةً متطفرة قد تُختبَر طفرتُها في توليفات مختلفة في كل فرد من المئة ألف بيضة الخاصة بها. بالتالي يمكن للانتخاب الطبيعي العمل على مئة ألف نموذج أصلي تجريبي، وليس واحدًا فقط. ويمكن توريث التوليفات المواتية من الجينات [بتمريرها إلى الجيل التالي]. يمكن للمجموعة السكانية المتكاثرة جنسيًّا أن تتطور بسرعة أو بهدوء في البيئات المتغيرة، وفي الظروف المواتية يمكن أن يُسرِّعَ التطورُ بدرجة كبيرة من خلال التكاثر الجنسي.

في نفس الوقت، فإن التكاثر الجنسي مقاوم للتغير. يمكن أنْ تُخفَّفَ الطفراتُ الشديدة القصوى _سواءً أكانت جيدة أم سيئة_ في كل جيل من خلال إعادة التوليف مع الجينات العادية. قد لا تختفي تلك الجينات من المجموعة السكانية، لكنْ قد تكْمُنُ كصفات متنحِّية، يُحتمَّل أن تعاود الظهور في أوقات غير ممكن التنبؤ بها بينما تخلطها إعادات التوليف هنا وهناك.

حقيقيات الأنوية معقدة للغاية بحيث أن الأفراد المتماثلين تقريبًا فقط يستطيعون خلط الـDNA الخاص بهم معًا مع وجود أي إمكانية لإنتاج نسل حي. تضمَن الآلياتُ الجسدية [الفيزيقية] والكيميائية والسلوكية "الغريزية" أن الجنس يسعى إليه فقط الأفرادُ الذين يتشاركون نفسَ الـDNA تقريبًا. تمثل مثل تلك المجموعة من الكائنات المتعضية نوعًا، والتي تُعرَّف بأنها مجموعة من الأفراد المتزاوجين فعليًّا أو إمكانيًّا [لديهم القدرة على التزاوج سويًّا]. يُدعى المجموع المؤلَّف من الجينات التي توجد في نوعٍ بالحوض الجيني، وهو مجموع كل جينومات [أفراد] النوع.

للتكاثر الجنسي عيبان كبيران. فأولًا، يُمَرِّرُ الفردُ المتكاثرُ جنسيًّا نصفَ الـDNA الخاص به فقط إلى أيّ ذرية واحدة، في حين يأتي النصف الآخر من الشريك. لذلك، فلكي يُمرِّر [يُوَرِّثُ] فردٌ متكاثرٌ جنسيًّا كلَّ جيناتِه، فإنه يحتاج إلى بذل واستثمار ضعف الجهد الذي يبذله فردٌ متكاثرٌ لا جنسيًّا [في توريثه كلَّ جيناتِه بالانتساخ]. ثانيًا، فإن نسل الشركاء المتكاثرين جنسيًّا ليس متطابقًا. وقد تُخلَط مجموعةٌ من الجينات المتنافرة [المتعارضة] معًا في الـDNA الخاص بفردٍ تعيس الحظ، والذي قد يموت مبكرًا أو يفشل في التكاثر. بالتالي، تحدث في كل جيل بعض الخسارة التكاثرية. مع ذلك تتكاثر الكثير للغاية من الأنواع جنسيًّا بحيث أنه يجب أن تكون هناك أفضليات موازِنة قوية جدًّا للجنس. لقد كُرِّسَت مئات الصفحات من الأوراق العلمية البحثية وكتب عديدة لتناول هذا السؤال، لكنْ ليس هناك حتى الآن أيُّ إجاباتٍ مُقنِعة.

بالتأكيد فإن التكاثر الجنسي له أفضليات من جهة مصلحة النوع أو المجموعة السكانية. إنه لجيد للمجموعة للسكانية أن تمتلك تنوعًا وتباينًا للنجاة من الأزمات البيئية؛ وإنه لجيد لمستقبل النوع أنْ يَحتفِظ بالطفرات المواتِية في الحوض الجيني للاختبار الشامل. لكن هذه ليست كيفية عمل التطور. يعمل الانتخابُ الطبيعي على نحو رئيسي _وربما على نحو حصري_ على أفراد، والأفراد يتنافسون لما هو أفضل لأنفسهم ولجيناتهم.

لأن مشكلة نشأة الجنس لم تُحَلَّ [بعدُ]، فلأُسْهِمْ باقتراحٍ من عندي. إن الأفضلية الرئيسية التي أراها في التكاثر الجنسي هي القدرة على التلاعب بمصير الـDNA الخاص بالفرد. يولَد الفرد بمجموعة معيَّنة من الـDNA، والتي لا يمكن تغييرها. يستطيع الفرد الذي يتكاثر بالانتساخ تمرير [توريث] ما يحمله [من جيناتٍ] فقط، وهو يقوم بذلك على أفضلِ نحوٍ إنْ لا تتغير بيئته التي هو متكيِّفٌ جيّدًا معها. لكنْ ماذا لو تغيرت البيئة الفيزيائية أو البيولُجية؟ بالتالي فإن الكائن المتعضِّي المتكاثر جنسيًّا قد يكون متفوقًا، لأنه يستطيع تعديل الجينات التي تمررها [تورِّثها]، من خلال فرص التزاوج المتناسبة. على نحو واضح، فإنه لا يستطيع التحكمَ في التفاصيل، لأن إعادة التوليف هي مسألة خلط وإعادة توزيع للـDNA. لكنه يمتلك بعض الخيار بصدد الـDNA الذي سيُخلَط مع الـDNA الخاص به، وهذا _في المتوسط_ قد يُنتِج نسلًا يبقى حيًّا على نحوٍ أفضلَ.

إنه يَصْعُبُ تحديد الزمن الذي بدأ فيه التكاثر الجنسي بين حقيقيات الأنوية. على أحسن تقدير، فإننا ننظر إلى كائناتٍ في السجل الأحفوري يتكاثر متحدِّروها جنسيًّا في العصر الحالي. بالتأكيد، يجب أن نهتم بظهور الحيوانات متعددة الخلايا، وذلك ربما منذ ٦٠٠ مليون سنة ماضية. رغم ذلك، فالكثير من الأوليَّات (البروتستا) تتكاثر جنسيًّا، وهي تتنوع [تتنوع أو تستنوع] في السجل الأحفوري منذ حوالي ألف مليون سنة ماضية (مليار سنة ماضية).

تصنيف حقيقيات النواة

توجد حقيقيات الأنوية في العالم الطبيعي في وَحَدات إيكولوجية [بيئية بيولُجية] وتطورية تُسمَّى الأنواع؛ وهي مجموعات من الأفراد الذي تنتمي موادهم الجينية وتُشْتَقّ من نفس الحوض الجينيّ [الوراثيّ] لكنها دائمًا تقريبًا متنافرة مع الخاصة بالأحواض الوراثية الأخرى. يستطيع أعضاء [أفراد] نفس النوع التهاجن لإنتاج نسل حي [ناجح]. إنهم [الأفراد] ينزعون إلى مشاركة سمات جسدية [فيزيقية] وسلوكية وحيوية كيميائية (تُدعَى بالصفات) أحدهم مع الآخر أكثر مما يتشاركون مع أفراد الأنواع الأخرى. يمكِّنُنا تحديد ومقارنة تلك الصفات من التمييز بين أنواع الكائنات المتعضِّية. إن النوع ليس مجموعة اعتباطية من الكائنات المتعضية، بل هي وحدة حقيقية طبيعية.

يستعمل علماء الأحياء نظامَ لينيه الخاص بتسمية الأنواع، على اسم كارل لينيه Carl Linné الذي ابتكره في القرن الثامن عشر. يُعطَى النوعُ اسمًا فريدًا محدَّدًا يمكننا الإشارة إليه به بلا التباس. توضَع الأنواع التي تتشارك عددًا كبيرًا من الصفات توضَع معًا في مجموعات تُدعَى بالأجناس، وتُعطى اسمَ جنسٍ مُمَيّزًا.

تُعطَى الأسماء التصنيفية أحيانًا معنًى قد يجعل من الأسهل تذكرها. وهكذا أعطى لينيه اسم النوع noctua للبومة الأورُبية الصغيرة لأنها تطير ليلًا، وأعطاه اسمَ الجنس Athene أثين [أثينا]، إلهة الحكمة الجريكية. حيث كانت هذه البومةُ رمزَ مدينةِ Athens أثينز [أثينا]، وظهرت على العملات المعدنية القديمة. رغم ذلك، فإن الأسماء التصنيفية الرسمية لا ينبغي عليها أن تحمل رسالة، رغم أن الاسم البسيط والملائم يكون أسهلَ تذكُّرًا. يجب أن يكون المرءُ حريصًا بصدد معاني الأسماء؛ فPuffinus puffinus ليس طائر بَفَن [طائر بحري من طيور الأطلسي الشمالي]، بل نوعٌ من جَلَم الماء أو قاصّ الماء [طائر بحري طويل الجناحين يسف في طيرانه حتى ليبدو وكأنه يقص الماء]. وPinguinus ليس بطريقًا بل طائر أوكٍ ضخم! [Auk طائر قصير العنق والجناحين من طيور البحار الشمالية]. وهكذا، فإن الأسماء العلمية بطريقة لينيه هي مجرد وسيلة مفيدة، لكنها قَيِّمة جدًّا. فالطائر الذي يسميه البريطانيون البومة البنية المُصْفَرَّة، ويسميه الجرمانيون [الألمانيون] بومة الخشب، ويسميه السويديون البومة القططية، يُعْرَف بالاسم العِلمي Strix aluco العالَمي بين علماء العالَم.

قد تُجْمَع الأجناسُ معًا في تصنيفات أشمل أعلى. كمثال، فالكثير من أنواع البوم تُجمَع معًا لتكوّنَ أسرة أو فصيلة البوميات Strigidae, or strigids، على اسم Strix أحد أجناسها. وقد تُجمَع الأُسَرُ في أسرة أو فصيلة عُليا superfamily، وبعد ذلك إلى رُتَبٍ وطوائف [أو أصناف] وشُعَب. ويمكن صياغة الكثير من التقسيمات الأصغر لأجل الفائدة [كالفُصَيّلة والفُصَيّلة الفرعية superfamily and infrafamily] (انظر الشكل التوضيحي ٣– ٥).

مملكة

شعبة

طائفة أو صنف

رتبة

رتبة فرعية أو تحت رتبة

أسرة أو فصيلة [عليا] superfamily

فُصَيّلة [فصيلة فرعية] subfamily

فُصَيّلة فرعية أو ثانوية infrafamily

جنس

نوع

الشكل التوضيحي ٣– ٥ التراتبية أو التسلسل الهرمي الخاص بالمجموعات التصنيفية، أو الوحدات التصنيفية، كما يستعملها علماءُ الحيوان. يمكن استعمال تصنيفات أخرى مثل العصبة أو الجماعة cohort [مجموعة تصنيفية كبيرة]، أما الألقاب الفرعية للفصيلة (عليا، فرعية أو ثانوية أو فُصَيِّلة، فرعية– فرعية) فتُسْتَعْمَل بحرية. يستعمل علماء النبات وعلماء الميكروبات والكائنات الدقيقة تصنيفاتٍ مختلفة إلى حدٍّ ما، لكن المبدأ التصنيفي الهرمي يظل هو نفسه.

يُدعى كل تقسيم أو تقسيم أدنى يُستعمَل لتنظيم الكائنات المتعضية إلى مجموعات يُدعَى مجموعةً تصنيفيةً taxon (تُجمعُ على taxa مجموعات تصنيفية). يُدعَى علماءُ الأحياء الذين يسعون أن يميزوا ويصفوا ويسمُّوا ويُحدِّدوا ويُصنِّفوا الكائناتِ المتعضية بعلماء التصنيف أو التنظيم، وتُدعَى الممارسة بالتصنيف أو التنظيم. رغم أن رتبًا مختلفة قليلًا من التصنيفات تُستعمَل للممالك المختلفة الخاصة بالمتعضيات، تظل الوحدتان أو الفئتان الرئيسيتان اللتان يعترف بهما كل علماء الأحياء هما النوع والجنس.

نضجت القواعد المعقدة لعلم التصنيف بينما كانت تزداد الكائنات المتعضية التي وصفها علماءُ التصنيفِ أكثرَ فأكثرَ. لعلماء الحيوان وعلماء النبات قواعدهم الخاصة بهم لوصف الأنواع الجديدة بحيث تُعَيَّن الأسماءُ قانونيًّا.

وصف التطور

إننا ندرك الآن أن أعضاء أيِّ نوعٍ معًا يُكَوِّنُون وحدةً بيولوجية تقوم على أساسٍ وراثيٍّ [جينيٍّ] والتي هي منفصلة تطوريًّا عن باقي عالَم الكائنات المتعضية. بالتالي، فإن تمييز وتسمية نوعٍ جديد هي بيان عن التطور. إنها تمثِّل فرضيةً بأن أفراد النوع يتشاركون نفسَ الحوض الجينيِّ [الوراثيِّ]، والذي هو مختلف عن الحوض الجيني الخاص بأيِّ نوعٍ آخَرَ لأنه قد حدث اختلافٌ [تباعد] تطوريٌّ عبرَ الزمن.

يهدف معظم علماء التصنيف إلى وضع أسماء أجناس وتصنيفات عليا تعكس [تاريخ وتفرع] التطور على نحو صحيح. في التصنيف التطوري، تُجمَع [تُوضَع] الأنواعُ في أجناسٍ على أساس فرضية أن الأجناس أيضًا تتشارك مجموعةً فريدةً من الصفات التي لا تتشاركها أجناس أخرى. وبدورها، توضَع الأجناس في فصائل [أو أُسَرٍ]، وهلمَّ جرًّا، وهو ما يعطي مُجدَّدًا معنىً تطوريًّا لقواعد وشروط تصنيف لينيه.

الأحكام بصدد مسار التطور ليست دائمًا واضحة، لذلك قد تحتاج الأحكام التصنيفية إلى مراجعتها عندما تُتاح معلوماتٌ جديدة. تتحرك الأنواع ما بين فئة الأجناس وفئات التصنيف الأعلى كلما توصَّلَ علماءُ التصنيف إلى فهمِ التاريخ التطوريِّ على نحوٍ أكثرَ دقَّةً. إن الطبيعة الناقصة للسجل الأحفوي تجعل التصنيفَ صعبًا على علماء المتحجراتِ والأحياء القديمة بوجهٍ خاصٍّ، وكثيرًا ما يؤدِّي هذا إلى شكوك أو جدالات بصدد التصنيف.

بينما تتطور الكائنات المتعضية عبر الزمن، تتغير صفاتها، ببطء أو سريعًا، تدريجيًّا أو فجأةً. وبينما تتراكم التغيرات، تُطَوِّرُ الأنواعُ صفاتٍ متغيِّرةٍ [مُبَدَّلةٍ] عن حالتها الأصلية. قد تكون الصفات الجديدة مختلفة على نحوٍ كافٍ لدرجة أن عالم الأحياء الذي يستطيع تفحص العينات الحية في نهاية السلسلة [خط التحدُّر التطوريّ] سيعتبرها بالتأكيد نوعًا منفصلًا. لكنْ كيف يستطيع المرءُ وضعَ خطٍّ فاصلٍ بين الأنواع خلال الزمن؟ فباعتبار كل شيء، لقد كان المتحدِّرون [الأنسال] دائمًا متصلين بأسلافهم. في مرحلة ما، لا بد أن أول طائر قد فُقِسَ من بيضةِ ديناصورٍ. ليس هناك انقطاع بين النوع السلف والنوع المتحدِّر كالذي بين الأنواع المعاصرة في العالَم الحيِّ.

هذه مشكلة خاصة تواجه علماء المتحجرات والأحياء القديمة، وهي تجعل تصنيفَ سجل المتحجرات صعبًا حقًّا، ومحلَّ جدالٍ محتدِم في كثير من الأحيان، كما _على سبيل المثال_ في دراسة متحجرا البشريين والبَشَرانيين [أسلاف البشر وأقاربهم التطوريين]. رغم ذلك، فإن المبدأ بسيط. في طرفٍ [من السلسلة أو شجرة النسب التطوري]، يستطيع المرءُ أن يقول بأن كل الكائنات المتعضِّية الحية هي نفس النوع، لأنها كلها تطورت _باستمرار_ من سلف وحيد والذي كان أول خلية حية. لكن لأجل الاستعمال المفيد، وللدلالة على الفجوات أو الموانع التكاثرية التي توجد بين الأنواع في أي زمن مُحدَّد في تاريخ كوكب الأرض، يجب على عالِم المتحجرات والأحياء القديمة أن يضع خطوطًا فاصلة في مكان ما بين الأنواع (والأجناس والطوائف [الأسر] وما إلى ذلك)، مع معرفته بأن الخطوط الفاصلة اصطناعية إن كانت تزعُم فصل الأسلاف عن المُتحدِّرين.

لحسن الحظ أو لسوئه، فإن سجل المتحجرات متقطع بدرجة كافية، وسرعة التغير التطوري سريعة على نحوٍ كافٍ، بحيث أن متحجرات الحلقات الوسطى نادرًا حقًّا ما يُعْثَر عليها. لذلك فإن سجل المتحجرات أكثر سهولة حقًّا في تقسيمه إلى أنواع وتصنيفات أعلى مما قد يتوقع المرءُ.

مناصرو تصنيف الكائنات حسب أصولها التطورية المشتركة

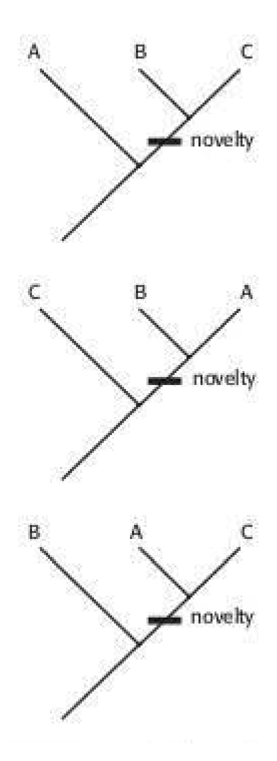
يتبنى هذا الكتاب صيغة معتدلة لمقاربة للتصنيف التطوري تُدعى بالتصنيف حسب الفروع التحدرية cladistics. هدف التصنيف حسب الفروع التحدُّرِيّة هو تعقُّب شجرة التحدر التطورية (المسارات التطورية أو التاريخ التطوري) التي نشأ النوعُ وفقًا لها واستعمال الشجرة التطورية لتمييز الأنواع وتقسيمها إلى فروع [أو أغصان] clades، أيْ: مجموعات من الأنواع التي تتحدر كلها من نوع سلفي واحد. وباستعمال تشبيه، فالغصن هو فرع على شجرة تمثِّل كلَّ أشكال الحياة، فلو أن كل أشكال الحياة على كوكب الأرض تتحدر من أول خلية حية من خلال سلسلة من الأحداث التطورية المتفرعة، فإن الحياة ككلٍّ هي جذع واحد (كامل الشجرة). لكن الأشجار تتفرع كثيرًا من التفرعات، وقد تتفرع الفروع بعد ذلك، وهلم جرًّا، وبالمثلِ توجد فروع تصنيف الكائنات المتعضية في تسلسل تراتبي من الفروع، وتمثل الفروع الطرفية النهائية أنواعًا مُفرَدة. ينتمي كل نوع إلى غصن أكبر، والذي بدوره ينتمي إلى غصن أكبر، وهلم جرًّا. كل فرع _مهما كان كِبَرُ حجمِه_ بدأ بحدَثِ تفرُّعٍ وحيدٍ أنتجَ النوعَ السلفَ الخاص بالفرع [أو الغصن].

يسعى متبنو التصنيف حسب فروع شجرة التحدر التطوري [أو الفروعيون] إلى تحديد مجموعات الأنواع التي تتشارك مجموعة من الصفات التي تطورت كَسِمَاتٍ جديدة في سلفٍ مشترَكٍ، ثم مُرِّرَتْ [وُرِّثَتْ] إلى كل الأنواع المتحدرة. تمثِّل هذه السمات المتطورة حديثًا [في حينه] تغيرًا عن حالة أوليَّة بدائية أو أصلية إلى حالة جديدة أو مُشتَقَّة. كمثال، كل الثدييات الحية تمتلك فروًا، لكنْ لا كائناتٍ متعضية حية أخرى تمتلكه. ربما وُرِثَ الفروُ من سلفٍ مشترَكٍ لكل الثدييات الحية والذي طَوَّرَ جِلدًا مغطى بفرو كسمة جديدة مستمَدَّة مُعدَّلة عن سمة قديمة (جلد مغطى بالحراشف). لو أن هذا صحيح، فبالتالي تكُونُ الثدييات فرعًا. باختبار الفرضية، يجد المرءُ صفاتٍ متشاركة مشتقَّة أخرى خاصة بالثدييات الحية تقوِّي البرهانَ. كمثال، كل الثدييات الحية حارة الدماء، وتُرضِع إناثُها صغارَها.

أحيانًا تنشأ مشاكل بسبب وجود صفات مشتقة مشابهة في نوع آخر في فرع آخر؛ فلا بد أن تلك الصفات قد تطورت أكثر من مرة، في تطور متلاقٍ أو متوازٍ [متقارب]. كمثال، تمتلك كلٌّ من الخفافيش والطيور أجنحة، وفي كل مجموعة منهما الجناح صفة مشتَقَّة [مستَمِدَّة] والتي عُدِّلَت من بُنْيَةٍ [تركيبٍ] ما آخر. لكن الخفافيش والطيور تتشارك صفات مشتقة مشتركة أخرى قليلة جدًّا، وتقترح قوة الأدلة أن الطيور فرع، والخفافيش فرع، لكن الخفافيش والطيور ليسا فرعًا.

حالما يُحَدَّد فرعٌ، فإننا بعد ذلك نبحث عن الصفات المستجدَّة في الأنواع ضمن الفرع. يمكن تحديد الفروع الفرعية بناء على توزع مثل تلك الصفات المشتقة ضمن المجموعة، حتى تظهر فرضية أفضل حول التاريخ التطوريِّ العامِّ لمجموعة الأنواع. يمكن اختبار الفرضية كلما تُفحَص صفاتٌ أخرى أو يُعاد تقييم صفات موجود، وكلما تُكتشَف أنواع جديدة وتوضَع في إطار تطوري.

كمثال، يمكن ربط ثلاثة أنواع حية _أ و ب و ج_ وفقَ ثلاث مسارات تطورية محتملة (الشكل التوضيحي ٣– ٦). أيها هو الصحيح؟ وأيُّ اثنين من الأنواع الثلاثة أكثرُ ارتباطًا ببعضهما؟ قد يبدو نوعان متشابهين جدًّا لأنهما يتشاركان صفاتٍ متشابهةً، لكنْ إنْ كانت تلك صفات أولية مشتركة والتي كانت موجودة أيضًا في سلفٍ مشترَكٍ، فإنها لا يمكن أن تفيدنا بأي شيء عن تاريخ التطور ضمن المجموعة، لأنها لم تتغير خلال ذلك التاريخ. إن الصفة المفيدة لحل المشكلة هي الصفة الجديدة أو المشتقّة، والتي تحدِّد المجموعةَ التي تغيرَتْ أكثرَ، بما أن الثلاثة أنواع كلها تتشارك صفاتِ سلفها المشترَك (الشكل التوضيحي ٣– ٦).



الشكل التوضيحي ٣- ٦ ثلاث فرضيات محتمَلة (مُعبَّرًا عنها في شكل مخططات أشجار تطورية) يمكن أن تُصَوِّرَ العلاقةَ التطورية الخاصة بهذه الأنواع الثلاثة. ربما يشعر المرء بأنه غير قادر على تحديد العلاقة. في تلك الحالة سيُصَوِّر المرءُ الثلاثةَ أنواعٍ على أنها منفصلة إلى ثلاثة فروع متساوية الدرجة. على نحو واضح، بوجود مجموعات تصنيفية أكثر تحت الدراسة، يزداد عدد الفرضيات المحتمَلة على نحو هائل.

تَعرِضُ مخططاتُ الأشجارِ التطورية مثل الشكل ٣- ٦ توزُّعَ الصفاتِ في صيغة مرئية مرسومة، ويُفترَض أن مخطط الشجرة التطورية الذي يتطلب أبسط وأقل تغيرات تطورية يمثِّلُ على نحو أفضل تاريخ التحدر التطوري الخاص بالأنواع. بالتالي فمخطط الشجرة التطورية يعبر عن فرضية حول التحدر التطوري لمجموعة. نوعان هما الأوثق قرابةً، ويمثِّلان مجموعتين أختين في فرع، بينما النوع الثالث هو مجموعة أخت لهما في فرع أكبر (الشكل ٣- ٦). في أغلب الأحيان، يدعم إنشاءَ مخطط الشجرة التطورية تحليلُ الكمبيوتر للصفات. يستطيع الكمبيوتر التعامل على نحو أفضل مع الكميات الضخمة من البيانات مما يستطيع مخٌّ بشريٌّ عاديٌّ، والنتيجة هي أن مخطط الشجرة التطورية النمطي يحدِّد الفروعَ على أساس صفات متعددة بدلًا من الصفة [الوحيدة] التي استعملناها ذات مرة (مثلًا، الفرو يحدَّد أو يُعرِّف الثدييات).

حالما يُرسَم مخطط الشجرة المفضَّل لإظهار أفضل فرضية، يستطيع المرء اتخاذ القرارات بصدد أفضل طريقة لتصنيف الأنواع ووصف تاريخها التطوري. إن مخطط الشجرة التطورية في حد ذاته لا يقوم بهذه الأشياءَ.

الأسماء في تصنيف الفروع التطوري

يستطيع المرءُ وضعَ أسماء رسمية لكل فرع على مخطط الشجرة التطوري. لكن هذا كان سيؤدي إلى عدد كبير من الأسماء، وليس كلها ضروريًّا للنقاش اليومي حول مائدة الإفطار. إن طباعة مخطط شجرة تطوري يُستعمَل فيه حدٌّ أدنى من الأسماء التراتبية [الخاصة بالترتيب الهرمي] ينقل ببساطة معلوماتٍ أكثرَ.

إن تعيين الأسماء للفروع مشكلة مستمرة، كما كان في الأزمنة قبل أن يصير التصنيف حسب الفروع التطورية داخلًا في الاستعمال العمومي. إنه يسهُل إدراك أن الفرع يُعيَّن من خلال شيئين؛ نقطة التفرع أو "المنبت"، أو الفرع الذي تحت نقطة التفرع (الساق) الذي يعيِّن أولَ ظهورٍ له، وأيضًا من خلال المجموع الكلي للأعضاء الذي يُكَوِّنون الفرعَ. هذا التحديدان [أو التعريفان] بالتأكيد متطابقان.

تنشأ المشاكل لأننا نجد عادةً أنفسَنا في موقف يكون فيه الأعضاء المتأخرون في الفرع ذوي صفاتٍ أكثر اشتقاقية (أكثر تطورًا) من مؤسِّسيه. بناء على ذلك، فنمطيًّا نحن لدينا صورة عن ماهيَّة ما يكُوِّنُه فرعٌ، بناءً على طبيعة وصفات الأعضاء الأكثر حداثةً واشتقاقيةَ صفاتٍ والذين هم مألوفون لنا أكثر. وهكذا فإن كلمة "الحيتان" _بالنسبة لنا_ تستحضر في أذهاننا نمطيًّا صورة حوت أزرق أو حوت أسود قاتل. رغم ذلك، فإن الأعضاء المبكرين من ذلك الفرع _وهم أسلاف الحوت_ امتلكوا أرجلًا ومَشَوْا. إن جد الحوت الأبعد _الذي تطورت فيه صفات شبه حوتية_ كان ذا قرابة بشفعيات الأصابع [ذوات

الثلاثة أصابع]، (شفعيات الأصابع الناتجة أو المشتقَّة المتطورة في العصر الحالي هي كالظباء (الأيائل) والماشية والخنازير وفرس النهر وما شابَهَ). بالتالي فلو أردنا وضعَ أسماءٍ على الشجرة التطورية الخاصة بالحيتان، فماذا ينبغي أنْ نفعل؟ وما هي الحيتان (الحوتيات Cetacea)؟

في هذا النوع من المواقف يوجد خياران، يفضل أحدَهما نمطيًّا المجموعتان المختلفتان من الباحثين الذين يسوِّدون صفحاتٍ في نقد آراء بعضهم البعض، بحيث أن كثيرًا من الطاقة تُحوَّل عن دراسة الكائنات الحية ويضيع بدلًا من ذلك في الجدالات حول فلسفة تصنيف الفروع التطورية.

يمكن للمرء استعمال أسلوب تحديد المجموعة الإكليلية، وهي رؤية من أعلى إلى أسفل لتطور الحيتان. فستكون الحيتان [وفقًا لهذه الطريقة] فرعًا يعيِّنُه أعضاؤه الأحياء، وسيحتوي كل الحيتان وصولًا إلى النقطة أو الفرع (المَنْبَت أو الساق) حيث يستطيع المرء العثورَ على السلف المشترَك لكل الحيتان الحية. رغم ذلك، فقد كان للحيتان قديمًا أقارب لصيقين والذين كنا سندعوهم أنا وأنت بالتأكيد حيتانًا، لكنها انتمت إلى فروعٍ منقرضة في العصر الحالي، بالإضافة إلى الفرع الذي يحتوي فقط على الحيتان الحية. فما هذه الكائنات إذَن؟ إن التحديدُ بأسلوب المجموعة الإكليلية يستبعدها من تصنيف الحيتان، وسيكون علينا [وفقًا لهذه الطريقة] أن نجد اسمًا آخر أو مجموعة من الأسماء لهم.

أو يستطيع المرء استعمال التحديد بأسلوب المجموعة الناشئة عن الغصن أو الساق (المجموعة الإكليلية)، أو التحديد [التعريف] من أسفل إلى أعلى. بالتالي [وفقًا لهذه الطريقة] ستُعَرَّف الحيتان بأنها كل الفروع _الحية والمنقرضة المعروفة من المتحجرات_ التي هي أكثرُ وثاقةَ قرابةٍ إلى الحيتان الحية مما هي إلى شفعيات [ثلاثيات] الأصابع. هذا يبدو لي أكثر معقولية من جهة أنه سيحتوي على كل شيء سنميزه أنتَ وأنا كحوت، بالإضافة إلى معظم أسلاف الحيتان السائرة. بالتالي تعود المجموعة الناشئة عن الغصن أو الساق إلى فوضى وعدم وضوح عند المرحلة أو النقطة التي كان أسلاف الحيتان وأسلاف شفعيات الأصابع فيها غير قابلين للتمييز عن بعضهما البعض.

مع ملاحظة أنه مهما كان النظام الذي سيُختار، فإن المسائل الصعبة تكون دائمًا عند اتجاه جذر شجرة مخطط الأصول التطورية، حيث يميل سجل المتحجرات إلى أن يكون أفقر، ويَصعُب أكثرَ تمييز وفصل الكائنات لأنها كانت وثيقة القرابة جدًّا.

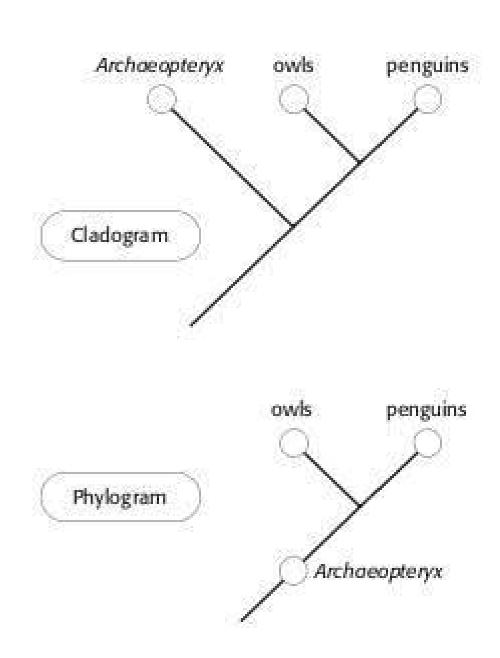
كلا التعريفين قابلان للدفاع عنهما منطقيًّا، مما يُصعِّب تفضيلَ نظامٍ على الآخَر على أساس أسباب منطقية. عادةً يؤخَذُ القرارُ على أساس أسباب اعتباطية؛ مثل: أيُّ علماء المتحجرات والأحياء القديمة يعملون أكثر على تلك الحيوانات وعلى ماذا يتفقون أنهم ينبغي أن يفعلوا (على نحو رئيسي وغالبًا)؟. لذلك تُعرَّف الحوتيَّات عادةً على أساس التعريف بالمجموعة الناشئة عن الفرع أو الساق، بينما لا تُعرَّف مملكة الثدييات بهذه الطريقة، أما رباعيات الأقدام فتحت مجريات النقاش. تفضيلي الشخصي هو لمقاربة التعريف على أساس المجموعة الناشئة عن الفرع أو الساق لأنها في العادة تميل إلى أن تؤدي إلى فهمٍ أوضَحَ لبيولوجيَّةِ وإيكولوجيَّةِ [تفاعل الكائن مع باقي الكائنات الحية في البيئة] الفرع. انتبِهْ إلى مسائل التسمية خلال باقي هذا الكتاب، لأنها تميل إلى أن تجعل النقاشات الخاصة بالتطور أكثرَ خَراقةً مما ينبغي أن تكون.

رغم ذلك، فتذكر أن لعبة التسميات لا تؤثر على بنية مخطط شجرة الأصول التطورية. في زمن ما في المستقبل البعيد سوف نتفق جميعًا على مخطط شجرة الأصول التطورية الخاصة بكل أشكال الحياة على كوكب الأرض، لكني أتوقع أننا سنستمر في الجدال بصدد الأسماء.

مخططات أشجار الأصول التطورية للأجناس Phylograms

يُرْسَمُ مخطط شجرة الفروع التطورية بحيث تكون كل الأنواع المشمولة بالدراسة على حافة واحدة (انظر الشكل التوضيحي ٣– ٧). فلا نوع في شجرة الفروع التطورية يُظْهَر على أنه تطور إلى آخَرَ. بعض متبني أسلوب التصنيف بطريقة الفروع التطورية (أو الفروعيين) يدَّعُون أن المرء لا يستطيع أبدًا أن يَعرِف أبدًا علاقاتِ السلفية والتحدر، وبمعنى ضيق محدود فإن هذا صحيح لأننا لا نملك آلةَ سفرٍ عبرَ الزمنِ. لكنْ أحيانًا تُعرَف متحجرةٌ بأنها يمكن جدًّا أنها كانت سلفًا لمتحجرة لاحقة أو كائن متعضٍّ حيّ. ففي الوقت الحاضر _كمثال_ يبدو اقتراحُ أن الأركيوبَتْرِكْسْ Archaeopteryx [الطير العتيق] كان سلف الطيور [البوم والبطاريق] أكثرَ معقوليةً لي من اقتراح أن الطيور تحدرت من سلف ما لم نعثر عليه بعدُ.

يُعبَّرُ عن فرضياتٍ كهذه في مخططات أشجار تطور الأجناس والتي قد تتضمن معلوماتٍ زمنية؛ فقد نُظهِر سلفًا مُقترحًا مُرشَّحًا في الرسم البياني (الشكل ٣- ٧). ومثل مخططات أشجار الفروع التطورية، فإن مخططات أشجار تطور الأجناس ليست بيانات عن حقائق بل فرضيات، خاضعة للاختبار المستمر.



الشكل التوضيحي ٣- ٧ مخطط شجرة فروع تطورية ومخطط شجرة تطور أجناس لثلاث مجموعات من الطيور. في مخطط شجرة الفروع التطورية لا تُظْهَر أيُّ مجموعةٍ على أنها سلفٌ لأخرى، وذلك لأن مخطط شجرة الفروع التطورية يسعى فقط إلى إظهار درجة العلاقة بين المجموعات. يتشارك البوم والبطاريق سماتٍ مشتقَّة لم يمتلكها الطير العتيق [الأركيوبترِكس]. لكنْ بفرض أني أردتُ القيام بالفرضية الإضافية القائلة بأن الأركيوبترِكس ليس فحسْبَ أقل اشتقاقيةَ صفاتٍ من الاثنين الآخرَيْن، بل وأنه كان سلفًا لهما. لإظهار ذلك، سأحتاج رسمَ مخططِ شجرةِ تطورِ أجناسٍ أو شجرة التاريخ التطوري للجنس a phylogram or phylogenetic tree لنفس الثلاث مجموعات لإظهار فرضية أن الأركيوبترِكس كان سلفَ البومِ والبطاريقِ. في هذه الحالة يُظهَر الأركيوبترِكس داخل جسم الشجرة التطورية، تحت [أسبق زمنيًّا من] الحدَثِ الذي يمثِّلُ التفرعَ التطوريَّ بين البوم والبطاريق.

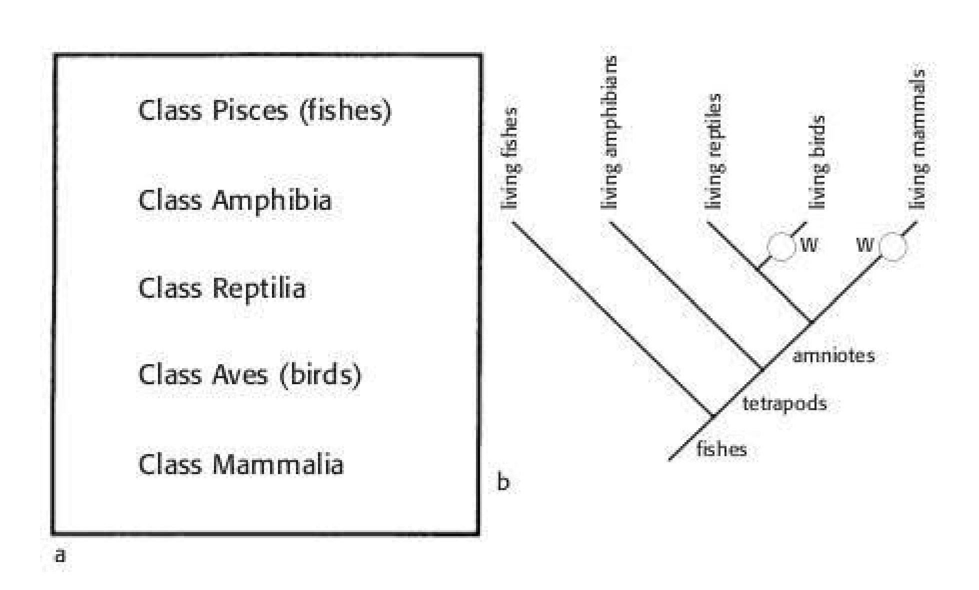
تبزغ أنماط حدسية بديلة مقابلة في التصنيف حسب الفروع التطورية. لقد اعتدنا كلنا على تصور الأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور والثدييات على أنها أصناف من الفقاريات، متساوية في المرتبة أحدها إلى الآخر على نحوٍ ما (الشكل التوضيحي ٣- ٨). لكن هذا ليس تصنيفًا بطريقة أسلوب الفروع التطورية. فرباعيات الأقدام في الحقيقة فرع ضمن الأسماك، مشتق ومتطور منها باكتساب بعض الصفات الجديدة، بما فيها الأقدام، والبرمائيات هي فرع ضمن رباعيات الأقدام. والزواحف بدورها مجموعة فرعية أخرى مشتقة من رباعيات الأقدام، والطيور هي فرع من زواحف مشتقة متطورة (ديناصورات متطورة على وجه الدقة).

لا شيء مخيف في هذا؛ بل هو ببساطة يتطلب وقتًا للاعتياد عليه. الشيء المهم هو عدم محاولة إقحام الوحدات التصنيفية القديمة التقليدية في إطار التصنيف حسب أسلوب الفروع التطورية، بل محاولة وضع تصنيف بسيط ومريح مع شجرة فروع تطورية أو شجرة تطور أجناس توضيحية. لقد حاولتُ استعمالَ أشجار فروع تطورية وأشجار أجناس تطورية بهذه الطريقة.

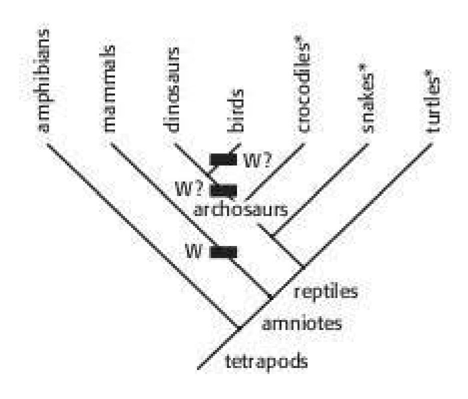
إن صنفنا كل الزواحف الحية في مجموعة واحدة ورسمنا مخطط شجرة فروع تطورية (كالشكل ٣- ٨)، فسوف نُظْهِرُ الحقيقةَ المعروفة جيدًا بأن الزواحف الحية والطيور أكثر تشابهًا مما يكون أيٌّ منهما للثدييات. يحمل مخطط شجرة الفروع التطورية أيضًا معلوماتٍ أخرى. إنه يُظهِر أن الدماء الحارة [قدرة الجسد على تنظيم حرارة الجسد داخليًا] _وهي سمة مشتقّة تتشاركها الطيور والثدييات الحية_ يجب أن تكون قد تطورت على نحوٍ مستقلٍّ مرتينِ على الأقل، ما لم تكنْ الزواحف الحية قد فقدت حرارة الدماء.

كلما درسنا المجموعات الفرعية الأصغر الخاصة بالزواحف الحية والمتحجرة، وجدنا أن الصورة المُحكَمة لتصنيف الزواحف تنهار، وأننا يجب أن نراجع تفاسيرنا. يُظْهِر الشكل التوضيحي ٣- ٩ أن "الزواحف الحية" ليست فرعًا. نستطيع أن نحدِّدَ فرعًا يُدعى "الزواحف"، لكن علينا أن نُضَمِّنَه الطيورَ. هذا يعني أن السلاحف والطيور والتماسيح والسحالي كلها فروع زاحفية قد انتوعت [تنوعت إلى أنواع] من زاحفٍ سلفٍ بدائيّ، رغم أن بعضها متطور وأكثر اشتقاقيةً من الآخرين من جهة أنها قد تطور فيها صفات جديدة أكثرَ والتي لم يمتلكها سلفها. بنفس الطريقة، فإن البشر رئيسيات مشتقَّة [متطورة]، وثدييات

مشتقة، وأسماك مشتقة، كل ذلك في نفس الوقت. حالما يعتاد المرء على هذه الطريقة الغير معتادة من التفكير، يصير مفهومه عن التطور أكثرَ واقعيةً، ونستطيع أن ندرك _كمثال_ أن البشر والديدان الشريطية وطفاوة [زبد، تشكلات السيانوبكتيريا] خليج القرش الأسترالي كلها حقيقيات الأنوية، رغم أن بعضها قد راكمَ صفاتٍ متطورةً [مشتقَّةً] واضحة أكثرَ من الآخرين.



الشكل ٣– ٨ تصنيف تقليدي (أ) للفقاريات الحية [الأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور والثدييات] ومخطط شجرة فروع تطورية للفقاريات [يتضمن تفريعين إضافيين باسم رباعيات الأقدام ثم السلويَّات التي لها كيس سلى في الحمل]. في التصنيف التقليدي، يكون كل صنف له رتبة مساوية للآخر. أما في مخطط شجرة الفروع التطورية (ب) فإنه واضح أن كل الأصناف ليست متساوية في الرتبة. كمثال، فالثدييات الحية هي مجموعة أخت للمجموعة التي تشمل (الطيور الحية+ الزواحف الحية). لاحظْ أن الصفة الجديدة وهي حرارة الدماء (والمرمَّز لها بالرمز W) قد تطورت [اشتُقَّتْ] على نحو مستقل في كل من الطيور والثدييات، وفقًا للفرضية المعبَّر عنها في هذا المخطط لشجرة الفروع التطورية.



الشكل ٣– ٩ مخطط شجرة فروع تطورية لبعض مجموعات الفقاريات يحمل معلوماتٍ أكثرَ من الآخر في الشكل ٣– ٨. لا تكون "الزواحف" فرعًا تطوريًّا ما لم تتضمن أيضًا الطيورَ (كما يظهر هنا في الشكل البياني). ولا تشكل الزواحف الحية فرعًا هي أيضًا. وانظر أيضًا إلى تطور حرارة الدماء (W)، والذي حدث في زمن ما أثناء تطور الثدييات. والطيور الحية أيضًا حارة الدماء. ربما كانت حرارة الدماء صفة سلفية ورثتها الطيور والديناصورات كل منها من أسلافها الزواحف الحاكمة، أو قد تكون صفة متطورة خاصة بالطيور فقط ولم تتشاركها معها الديناصورات. إن رسم شجرة فروع تطورية يدفعنا إلى التساؤل حول تلك المسائل.

الفصل الرابع

تطور عديدات الخلايا التي تنتظم خلاياها في طبقتين أو أكثر (التوالي أو الميتازوا Metazoans)

لحقيقيات الأنوية درجتان من التنظيم: وحيدات الخلية (البروتستا أو الأوليَّات protists) وعديدات الخلايا (النباتات والحيوانات والفطريات). إن العالَم في العصر الحالي مليء بالميتازوا [أو التوالي metazoans] _أيْ: الحيوانات المعقدة متعددة الخلايا، والـmetaphytes_ أيْ: النباتات المعقدة العديدة الخلايا. فكيف ولماذا ومتى تطورت من الأَوَلِيَّات [البروتستا]؟

الأوليات وحيدات الخلية الخاصة بدهر الحياة البدائية أو البروتيزوري Proterozoic (الأوَلِيَّات أو البروتستا)

يمكن أن يحمِلَ الأوليُّ الكلوروفِل (وبالتالي يكون "طُحلبًا" ذاتيَّ التغذية وقائمًا بالتمثيل الضوئي)، أو يمكن أن يأكل كائناتٍ متعضِّيةً أخرى (وبالتالي يكون "حيوانًا" أوليًّا ميكروسكوبيًّا وحيد الخلية “protozoan” متغذيًا على المصادر الخارجية المحتوية على الكربون العضوي، أو قد يقوم بكلا الأمرين.

بدءًا من حوالي ١٨٥٠ مليون عام ماضٍ، نجد جسيمات الأكريتارك acritarchs، وهي متحجرات مجهرية كروية ذات جدران عضوية سميكة ومعقدة. لقد كانت على الأرجح طحالبَ أنمَيْنَ أغلفةً عضويةً سميكة في مرحلةٍ راحةٍ من دائرة حيواتهن، لكنهن قضين معظم حيواتهن طافيات (بدون الأغلفة) ضمن العوالق plankton [الكائنات المتعضية الميكروسكوبية الطافية في المياه]، وهي [أيّ] مستعمرة للكائنات المتعضية الميكروسكوبية التي تعتاش في المياه السطحية للمحيطات والبُحَيرات. على الأرجح بسبب اختلاف كيميائية مياه أسطح المحيطات ومياه قيعانها، يبدو أن الأوليات الخاصة بدهر طلائع الحياة كانت عوالق مائية، بينما ظلت بدائيات الأنوية تعيش في المفارش البكتيرية في قيعان البحار والمحيط. تتطلب تقريبًا كل حقيقيات الأنوية _حتى وحيدات الخلية_ بعضَ الأُكْسُجِنْ لتُشَغِّل ميتوكندرياها، بالتالي كانت قيعان بحار دهر طلائع الحياة مكانًا غير ملائم ومعاديًا جدًّا لحقيقيات الأنوية.

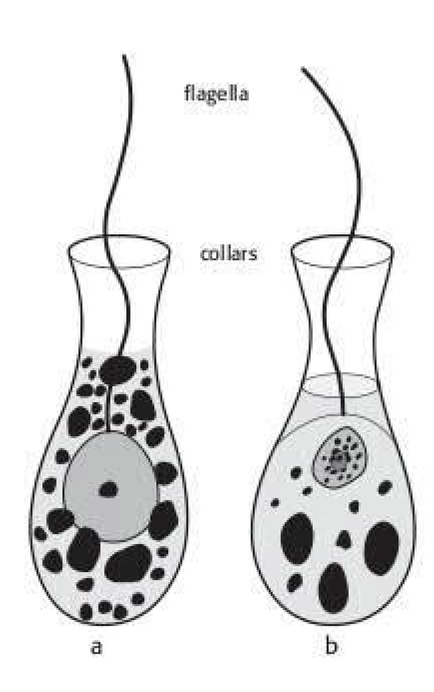
حتى على أسطح المياه، فلعل نقص المواد المغذية أعاقَ تطورَ حقيقياتِ الأنويةِ. فقط في أواخر دهر طلائع الحياة نبدأ في رؤية تنوع جيد من الأوليات العوالق. هذا قد يعني بدوره أن إنتاج لم يَزْدَدْ كثيرًا قبل حوالي _لِنَقُلْ_ ٨٠٠ مليون سنة ماضية. ثم وَسَّعَتْ مستويات الأكسجن المزدادة تدريجيًّا النطاقَ الحامل للأكسجِن أعمقَ فأعمقَ في محيط دهر الحياة البدائية، مُوقِفَةً إنتاجَ الميثانِ في أعماق المياه. في النهاية، برَّدَتْ هذه العمليةُ المناخَ العالَميَّ، وصار المزيد فالمزيد من رقع قيعان البحار مسكونًا بالأوليات (البروتستا protists) بالإضافة إلى البكتيريا والعتيقات archaea. ليس قبل أواخر دهر طلائع الحياة حتى نستطيع تصور قيعان البحار تعج بمستعمَراتٍ ناجحة من الأوليَّات المتغذية على إمدادات الغذاء الغنية المتاحة في المفارش البكتيرية. وعلى نحوٍ أكثرَ أهميةً، فإن دهر طلائع الحياة الأوسط لم يكن زمنًا مناسبًا وجيدًا لتطور الحيوانات أو النباتات المعقدة.

نشأة وتطور الميتازوا (عديدات الخلايا التي تنتظم خلاياها في طبقتين أو أكثر) من وحيدات الخلايا (البروتستا)

الأوليّ المُسوَّط أو ذو السوط هو خلية وحيدة ذات شُعَيْرة ضارة، أيْ: سوط flagellum (وجمعها باللاتينية flagella أسواط)، والذي يحركه [الأوليّ] عبرَ الماء (الصورة ٤– ١أ). تُكَوِّنُ بعضُ أنواعِ الأوليَّات المُسَوَّطة _وهي الـ choanoflagellates [السوطيات ذوات الياقة أو "الرقبة": حيوانات وحيدة الخلية ذات سوط وشكل ياقة خارجية عبارة عن مجسات]_ مُستعمَراتٍ خلوية انتساخية متماثلة، أيْ أنها تتكاثر ببرعمة أفرادٍ جددٍ، والتي تتجمع بعد ذلك مع بعضها لتكوِّنَ حيوانًا مُرَكَّبًا أو مُستعمَرة خلوية انتساخية مثبَّتةً إلى قاع البحر (الصورة ٤– ٢أ). يضرب السوطُ ليُحْدِثَ تيارًا مائيًّا منتظِمًا حول وبين الأفراد، والذي يُصَفِّي البكتيريا من تيار الماء [للتغذي عليها].

الإسفنج هو أبسط تغير لعديد الخلايا عن هذه الطريقة للحياة. فهو يحتوي على الكثير من الخلايا المسوطة المتماثلة المنظَّمة بحيث تُحْدِثُ وتُوَجِّه تيارات الماء على نحوٍ فعّال (الصور ٤– ١ب، ٤– ٢ب، ٤– ٣أ). حيوانات الإسفنج أكثر تقدمًا من المستعمَرات الخلوية الانتساخية المتماثلة الخاصة بالمسوطات ذوات الياقة choanoflagellates لأنها تمتلك أيضًا خلايا متخصِّصة؛ فبعضهن يُكَوِّنُ جدارًا جسديًّا، والبعض يهضم ويوزِّع الغذاء اللاتي يجمعنه، والبعض يُنشئُ هيكلًا صلبًا من بروتين عضوي أو غير عضوي والذي يُمَكِّنُ حيوانات الإسفنج من أن تصير أكبرَ بدون أن تنهار إلى شكل كومة من الهلام (الصورة ٤– ٣ب). بالتالي فإن حيوانات الإسفنج بعديات أو توالي أو متزويَات متعددة الخلايا (أو ميتازوا metazoans)، وليست أَوَلِيَّاتٍ (بروتستا protists). الميتازوا ليست مجرد حيوانات متعددة الخلايا، بل وهي تمتلك أنواعًا مختلفة من الخلايا التي تقوم بوظائفَ مختلفةٍ.

إن الميتازوا على الأرجح فرعٌ تطوريٌّ a clade، أيْ أنها كلها تحدرت من نوعٍ واحدٍ من الأوليَّات (الصورة ٤– ٤). كمثالٍ، فإن كل الميتازوات تمتلك في الأصل هُدْبًا أو سَوْطًا واحدًا لكل خلية. تتشارك الميتازوات أيضًا نفسَ النوع من التنمِّي المبكِّر. فهي تتشكل إلى كرات منطوية من الخلايا الداخلية والتي كثيرًا ما تكون حرة الحركة، وتغطيها صفيحات خارجية من الخلايا التي تُكَوِّن غلافًا خارجيًّا شبيهًا بالجلد للحيوان.

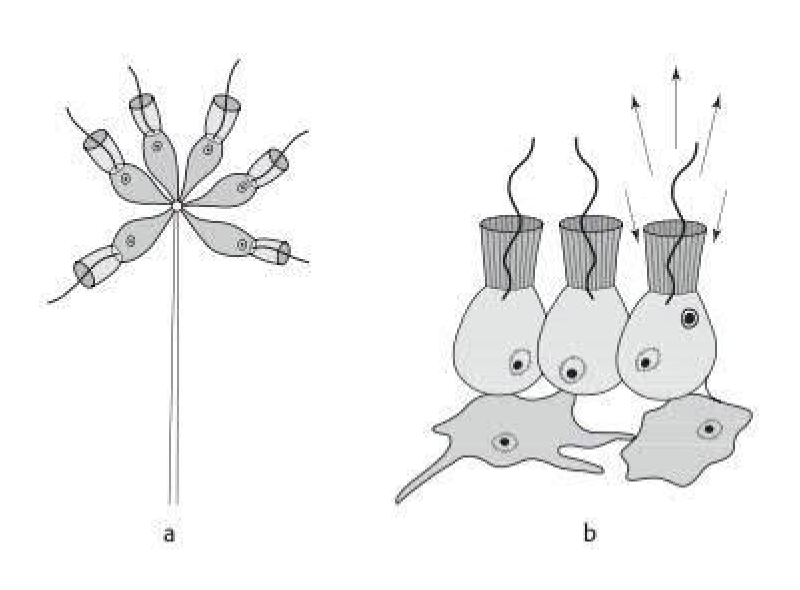


الصورة ٤– ١ الأوليات والإسفنج. (أ) حيوان وحيد الخلية مسوط ذو ياقة choanoflagellate، وهو أوَليٌّ يستعمل سوطَه لتحريك الماء، وهكذا يدفع الحيوانَ عبرَ الماء. ويُمسَك بالطعام عندما يُجذَبُ الماءُ من خلال الياقة.
(ب) "خلية ذات ياقة" أو خلية سوطية ذات قُمعٍ أو ياقة choanocyte من حيوان الإسفنج. إنها تمتلك تقريبًا نفسَ البنية والوظيفة، عدا أن الخلية مُثَبَّتة في جسد الإسفنج ولا تتحرك عبر الماء. يضرب الذيل لإنتاج تيار ماء هو مصدر كل التغذية.

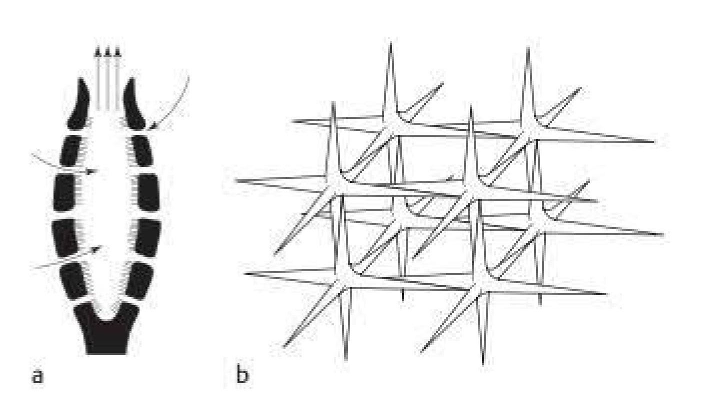
لقد كانت أولُ الميتازوات صغيرة ولينة الأجساد، لذلك ليس لدينا سجل متحجرات لها. لكننا نستطيع النظرَ إلى التنوع الهائل من الحيوانات الحية وإلى السجل الجيولُجي ونحاول الاستنتاج بالاستدلال على الماهية التي ربما كانت عليها أولُ الميتازوات وما قد تكون قد قامت به.

توجد ثلاثة أنواع فقط من الميتازوات؛ وهي الإسفنجيات وأقاربها اللواسع (الكنداريا) وأقاربها متناظرات الجانبين (وهي حيوانات ثلاثية الأبعاد ذوات تماثل أي تناظر للجانبين). كل منهن قد حل مشكلة تطوير حجم وتعقيد أكبر، لكن بطرق مختلفة.

لقد تشعبت الإسفنجيات على الأرجح أولًا من ميتازوا سلفي، وكان سلفهن الوسيط على الأرجح يشبه المستعمَرات الخلوية الانتساخية للمسوطات ذوات الياقة choanoflagellate (الصور ٤– ١ و٤– ٢). لقد تطورت حيوانات الإسفنج بتوسعة وتطوير أسلوب حياة المسوطات وحيدة الخلية ذات الياقة إلى حجم كبير وتحزيم [=جمع] معقَّد. واستمررن في ضخ الماء (مع الأكسُجِن والبكتيريا التي يُمسِكْنَ بها منه) عبر أنسجتهن، في وحدات ترشيحٍ داخلية (الصورة ٤– ٣).



الصورة ٤– ٢ (أ) مستعمَرة انتساخية من وحيدات الخلية المسوطات ذوات الياقة choanoflagellates. الأفراد الجديدة التي تتبرعم من خلية أم تظل ملتصقة أحدها بالآخر وبقاع البحر. المستعمرة الانتساخية لا تتحرك، لكنَّ أسواطَ كل الأفراد تتحرك سويًّا لتُحْدِثَ تيارًا مائيًّا للتغذية والذي يسحب الماءَ عبر مرشِّحات الخلايا الفردية. على الأغلب تطور أول ميتازوا من كائن متعضٍّ بدا وعمل مثل هذا. (ب) مجموعة من الخلايا السوطية ذوات القُمع أو الياقة choanocytes من حيوان إسفنج.



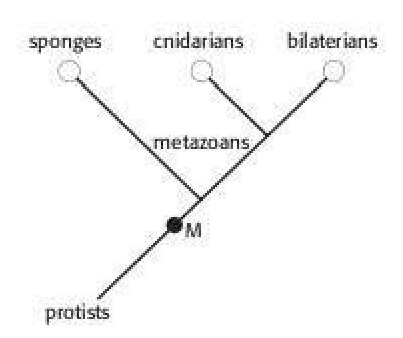
الصورة ٤– ٣ (أ) بنية إسفنج بسيط، والتي هي متطورة أكثر من وحيدات الخلية المسوطة ذوات القمع في كون المرشِّحات أكثر تعقيدًا ومغلَّفة داخل جدار جسدي.
(ب) تمتلك الكثير من أنواع الإسفنج بنياتٍ داعمةً تساعدهن على الحفاظ على أشكالهن، حتى في الأحجام الكبيرة. كمثال، فإن بعض حيوانات الإسفنج الزجاجي تمتلك إبرًا أو أشواكًا محتوية على معادن منتظِمة في هيكل خارجي يشبه العوارض الفولاذية في عمارة ناطحة سحاب.

تُبنى أجسام اللواسع (أو الجوفمعويات coelenterates) _والتي تتضمن شقائق النعمان البحرية وقناديل البحر والمرجان_ في معظمها من صفائح من الخلايا، وهي تستغل مساحة السطح الكبيرة الخاصة بالصفائح بطرق معقدة لكسب قوت حيواتها. إن صفيحة نسيج اللاسع لها خلايا على كلٍّ من سطح وطبقة من مادة شبيهة بالهلام في الوسط. تُشَكَّل الصفيحة إلى شكل شبيه بالحقيبة لتُبرِزَ سطحًا خارجيًّا وآخر داخليًّا (الصورة ٤– ٥أ). وهكذا يتسع اللاسع لكثيرٍ من ماء البحر في تجويفٍ مغلَّف إلى حد كبير ويبطنه السطح الداخلي الخاص بالصفيحة. يشكِّل عنقُ الحقيبةِ فمًا، والذي يمكن أن تُغلِقَه عضلاتٌ تتحرك كرباط الكيس أو السروال. تمتد شبكةٌ من الخلايا العصبية عبر صفيحة النسيج لتنسيق حركات الحيوان.

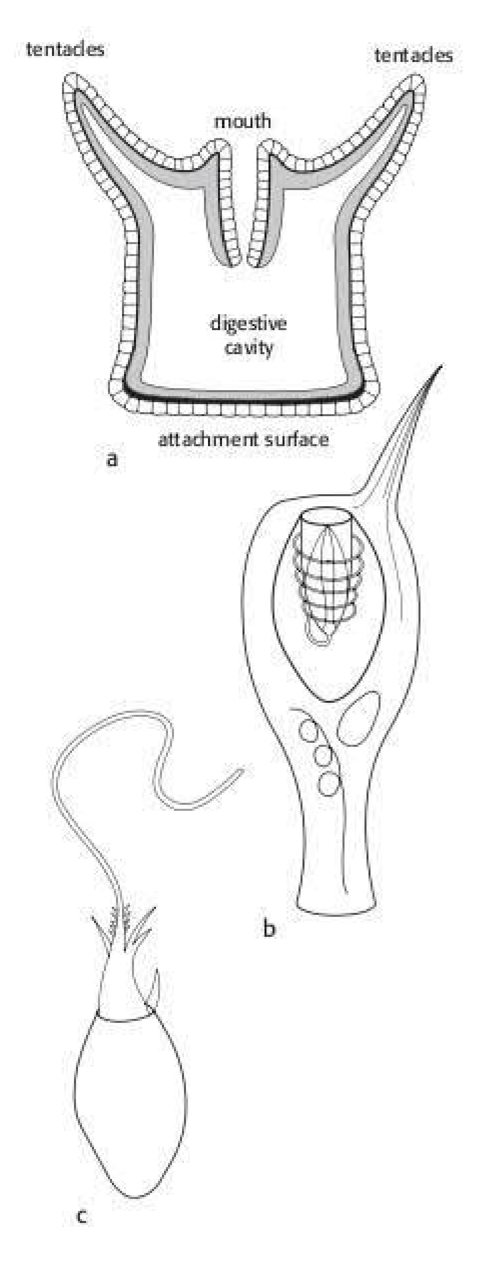
في معظم اللواسع يَكُوُن السطح الخارجي للصفيحة ببساطة بشرةٍ واقية. ويكون السطح الداخلي هضميًّا على نحو رئيسي، ويَمتص جزيئاتِ الطعام من الماء في التجويف المغلَّف. ولأن اللواسع تُبنى من صفيحات رفيعة من النسيج فقط، فإن أوزانها خفيفة جدًّا، وتستطيع العيش على كميات قليلة من الطعام. وهي تستطيع امتصاص كل ما تحتاجه من الأكسُجِن من الماء المحيط بها.

تمتلك اللواسعُ خلايا خيطية nematocysts أيْ مجموعة خلايا لاسعة في السطح الجِلْدي الخارجي (الصورتان ٤– ٥ب، و٤– ٥ج). إن سموم بعض اللواسع لها قوة كافية لقتل سمكة، وقد مات ناسٌ بعدما لسعتهم جماعات قناديل البحر. تتركز الخلايا الخيطية عادةً على الأسطح وأطراف المجسات، والتي تشكِّل حلقة حول الفم. إنها توفر دفاعًا فعالًا للّاسع، لكنها أيضًا أسلحة قوية للإمساك بالفرائس وقتلها، والتي تدفعها المجساتُ بعدئذٍ إلى الفم لتُهضَم في التجويف. تُرَشِّح الخلايا الهضية المبطِّنة للتجويفِ إنزيماتٍ قويةً في الماء. تتفكك أنسجة الفريسة بفعل الإنزيمات، ويمتص الحيوانُ اللاسعُ جزيئاتِ الطعام عبرَ خلايا البطانة الداخلية للتجويف. وبذلك تستطيع اللواسع أكلَ فريسةٍ بدون أن تمتلك فمًا حقيقيًّا ولا معدةً حقيقيةً.

نادرًا ما تستطيع أيُّ حيوانات إسفنج معالجةَ جزيئات طعام أكبر من بكتيريوم [مفرد البكتيريا]، رغم وجود استثناآت قليلة. إلا أن اللواسع الحية على نحو روتيني تأسر وتقتل وتهضم كائناتٍ تفوقها وزنًا بعدة مرات باستعمال خلاياها الخيطية. رغم ذلك، فلا يقين أن أوائل اللواسع امتلكت خلايا خيطية [لاسعة]؛ فربما كانت تمتص المواد المغذية العضوية المذابة من ماء البحر ببساطة.



الصورة ٤– ٤ المجموعات الرئيسية الثلاثة الخاصة بالميتازوا هي فرع تطوري (فرع الميتازوا Metazoa أو التوالي) تطور من أوليٍّ (بروتست protist) باكتساب صفة تعدد الخلايا متعددة التخصصات (يُرمَز لهذا الحَدَثِ بالرمز M). ويظهر في شجرة الفروع تطور أحد الأَوَليَّات إلى حيوانات إسفنج ولواسع ومتناظرات الجانبين.



الصورة ٤– ٥ سمات هامة للواسع. (أ) البنية الأساسية للحيوان اللاسع [سطح ملصق، مجسات، فم، وفجوة هضمية]. (ب) الخلايا الخيطية أو اللاسعة هي سمة فريدة خاصة باللواسع، تُستعمَل في الدفاع والتغذية. هذه الخلية لم تُحفَّز. (ج) خلية لاسعة من الخارج، ويبدو فيها مدى السلاح.

ثالث مجموعات الميتازوا وأكثرها تعقيدًا تحتوي على كل الميتازوا الأخرى، بما فيها الفقاريات. ألا وهي متناظرات الجانبين Bilateria or bilaterians، وهي ميتازوات ذوات تناظر للجانبين مميز يؤثر على بيولُجيَّتِهم على نحو هائل. إن الديدان هي أبسط متناظرات الجانبين. تتكون متناظرات الجانبين على نحو رئيسي من صفيحة مزدوجة من النسيج والتي هي ملتفة حول نفسها وملتصقة مع الأسطح الداخلية إلى حد كبير، لتُكَوِّنَ حيوانًا ثلاثيَّ الأبعاد. وعلى نقيض الإسفنجيات واللواسع، فإنها تمتلك أجهزةً عضوية معقدة مصنوعةً من خلايا متخصصة، وتُبنَى هذه الأجهزة العضوية أثناء نمو الحيوان بآلياتٍ مُنَظِّمة خاصة مُشفَّرة في الجينات.

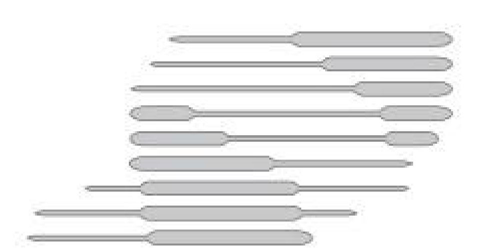
كل الإسفنجيات ومعظم اللواسع تكون ملتصقةً بقاع البحر ككائنات بالغة، وتعتمد على الإمساك بالطعام من الماء. لكن الكثير من متناظرات الجانبين المنقرضة والحية هي حيوانات طليقة حرة الاعتياش، مما يجعلها تعيش كمتقممات ومفترسات متحركة. يرتبط تناظر الجانبين بلا شك بالقدرةِ على الحركة؛ فأي شكل آخر كان سيؤدي إلى حيوان لا يستطيع التحرك بكفاءة.

كانت أوائل متناظرات الجانبين شبيهة بالدود. تزحف الديدان على قاع البحر على سطح جسمها البطني (الأدنى)، والذي ربما يكون مختلفًا عن سطح جسمها الظهري (العُلوي). وهي تُفضّل التحركَ في اتجاهٍ واحد، ولها رأس عند المقدمة يحتوي على المراكز العصبية الرئيسية المرتبطة بالإحساس بالبيئة. يُنسِّق نظام عصبي متطور على نحو جيد العضلاتِ بحيث تستطيع الدودة الاستجابة بسرعة وفاعلية للمحفزات الخارجية. أدت قدرة متناظرات الجانبين المبكرة على الحركة على قيعان البحار على الأرجح إلى تمايز الجسد إلى أمامي وخلفي (رأس وذيل) وإلى سطحين ظهريٍّ وبطنيٍّ، لأن الأجزاء المختلفة العديدة للحيوان واجهت محفزاتٍ مختلفة وكان عليها أن تستجيب لها.

يُميِّزُ الطرفَ الأمامي لمتناظرات الجانبين عادةً فتحةُ إدخالِ الطعام، وهو فم يُمرِّرُ الطعام عبره إلى وعلى طول جهاز هضمي داخلي متخصص ذي اتجاه واحد بدلًا من أنْ يُهضَمَ في جوف بسيط يمتلئ بماء البحر. لا خلية إسفنج ولا خلية لاسع تختلف كثيرًا جدًّا عن خلية ماصَّة للطعام (هضمية)، لذلك لا تمتلك هذه الكائناتُ نظامَ [أو جهازَ] نقلٍ داخليًّا متخصصًا. لكن الجهاز الهضمي الخاص بمتناظرات الجانبين يحتاج إمدادًا بالأكسجين، وينبغي نقل

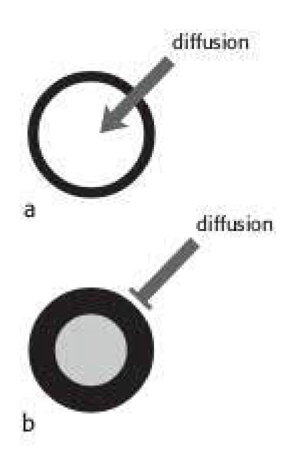
وتوزيع المواد المغذية الممتَّصة إلى باقي الجسم. لذلك فإن لمتناظرات الجانبين جهازًا دوريًّا [للدورة الدموية]، وكلما ازداد حجمها وكونها ثلاثية الأبعاد، لزم أن يكون الجهاز الدوري أحسن وأكثر تطورًا.

تمتلك كل متناظرات الجانبين الأبسط (الأبكر؟) تقريبًا تجويفًا داخليًّا ممتلئًا بسائل، وهو الجوف العامّ coelom، والذي قد يكون مُعدَّلًا بدرجة كبيرة في بعض الأشكال الحية. كمثال، في البشر يكون الجوف العامّ كيسًا يحوي كلَّ الأعضاء الداخلية. ربما قد نشأ وتطور الجوف العام كأداة هيدروليكية مفيدة. السائل غير قابل للانضغاط، ومتناظر الجانبين ذو الجوف العام يستطيع ضغط [أو عصر] هذا المخزون الداخلي عن طريق عضلات الجسد. يدفع ذلك العصرُ جدارَ الجسدِ إلى أضعف نقاطه، والذي هو في العادة طرف (الصورة ٤– ٦). يمكن استعمال ذلك المط الهيدروليكي للجسم كمثقاب قوي للحفر والنبش في الرُسابة [الرواسب] للعثور على الطعام أو الأمان.



الصورة ٤– ٦ كيفية استعمال متناظرات الجانبين التجويف الجسمي العام كأداة هيدروليكية [تتحرك بالماء] للحفر. تحفر هذه الدودة من اليمين إلى اليسار. إنها تمط المقدمة بضغط السائل إلى الأمام، ثم تُكَوّن انتفاخًا بصليًا عند المقدمة ليعمل كمرساة. ثم تدفع باقي الجسد إلى الأعلى إلى المرساة، وتتكرر الدورة من جديد. إننا نستعمل نفس التسلسل المنطقي للأفعال تقريبًا _ولكن بآلية مختلفة_ لرفع شاحنة من الوحل. إن دودة متطورة مقسمة إلى أجزاء تفصلها صمامات تمتلك قدرة على حركات حفر أكثر كفاءةً بكثير.

يمكن أن يكون الجوفُ قد قدَّمَ أفضليةً كبيرةً أخرى لمتناظرات الجانبين. فالأكسجين يجب أن يصل إلى كل الخلايا في الجسد للتنفس والتمثيل الغذائي. تستطيع الكائنات المتعضية وحيدة الخلية عادةً الحصولَ على كل الأكسجين الذي تحتاجه لأنه ينتشر ويتغلغل ببساطة من خلال جدار الخلية إلى أجسادها الضئيلة. تضخ الإسفنجيات الماء خلال أجسادها بينما هي تتغذى. وتتكون اللواسع والديدان المفلطحة من نسيج بسُمك صفيحتين على أقصى حد. لكن الحيوانات الأكبر ذات الأنسجة الأسمك لا تستطيع التزود بكل الأكسجين الذي تحتاجه بالانتشار البسيط للأكسجين (الشكل التوضيحي ٤– ٧). إن تزويد الأنسجة الأعمق بالأكسجن يصير مشكلة حقيقية مع أيِّ زيادةٍ في سماكة أو تعقيد الجسد. فلو طوَّرَ الحيوانُ جهازًا [أو نظامًا] تبادليًّا ما بحيث يُملَأُ سائلُه الجوفيُّ بالأكسجن، فسيمكن للجوف حينذاك أنْ يعمل كمخزن كبير للأكسجن المدَّخَر. في آخر الأمر استطاع الحيوانُ تطوير مضخات وفروع [أوردة] ودوائر متصلة بالجوف لتُكَوِّنَ جهازًا دوريًّا كفئًا.

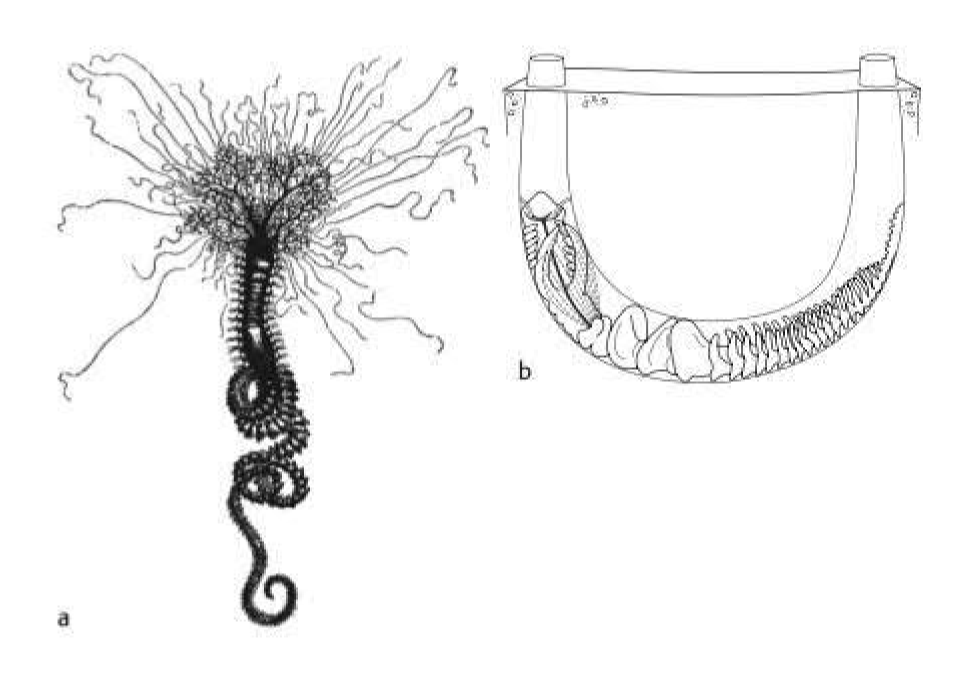


الشكل التوضيحي ٤– ٧ الانتشار البسيط للأكسجين. في الشكل (أ) تستطيع الحيوانات ذوات الأنسجة الرقيقة الاعتمادَ على الانتشار [التغلغل] وحده لتزويد كامل الجسم بالأكسُجِن. لكن الانتشار لا يستطيع تزويد باطن الحيوانات ذوات الأنسجة السميكة بالأكسجن، كما في الشكل (ب). يُستَلْزَم أجهزة تنفسية خاصة لكي لا تُحرَمَ الأنسجةُ الداخلية من الأكسجن.

تمتلك الكثيرُ من متناظرات الجانبين المتطورة أجزاءً [أو أقسام]؛ فأجسادها مقسَّمة بحواجز تفصل وتقسِّم الجوف إلى تجاويف منفصلة متصلة بصمَّامات. هذا التنظيم أكثر فعاليةً للحفر من تجويفِ جوفٍ مُفرَدٍ بسيط (الصورة ٤– ٦). إن التقسم إلى أجزاء أو فصوص في الكثير من الحيوانات _بما في ذلك ديدان الأرض_ ربما كان مشتقًّا من ذلك الاختراع على قيعان بحار العصر القبل الكامبري.

لقد منعت مشاكل التنفس على الأرجح ذوات الجوف المبكرة من الحفر بحثًا عن الطعام في الرواسب العضوية الثرية، والتي هي منخفضة مستوى الأكسجين جدًّا. لكن لعل ذا جوف حافر سعيًا للاحتماء قد طور أعضاءً خاصَّةً ما للحصول على الأكسجين من طبقة ماء البحر العلوية عند طرف من طرفيه بينما ظل جسده الرئيسي آمنًا تحت سطح [قاع البحر]. تمتلك الكثير من ذوات الجوف [البدائية في البحر] التي تعيش في الجحور الضحلة أنواعًا عديدة من المجسات والشُعَيْرات والخياشيم التي تمدُّها في الماء كأعضاءٍ تنفسية (الصورة ٤– ٨). خطوة قصيرة جدًّا تفصل هذه المرحلة عن المرحلة التي يجمع فيها الحيوانُ ذو الجوفِ الطعامَ وكذلك الأكسجن عن طريقة تغذية ترشيحية (الصورة ٤– ٨أ)، كما في كل الحيوانات الطحلبية [bryozoans حيوانات مائية من أشباه الديدان] وعضديات الأرجل [المسرجانيات، شعبة حيوانية لا فقارية بحرية صدفية الهيكل]، وفي بعض الرخويات والديدان وشوكيات الجلد والحبليَّات البسيطة.

طورت بعض ذوات الجوف الأخرى حلًّا بديلًا. فهي تحفر بنشاط للغاية بحيث أن حركات أجسادها تضخ الماء المليء بالأكسجن عبر الجحر فوقها. في هذه الديدان يكون التنفس من خلال سطح الجلد كافيًا لاحتياجاتها من الأكسجن حيث أنها تمتلك أيضًا نظامًا دوريًّا داخليًّا فعالًا لتوزيع الأكسجن (كما في بعض الديدان وفي الكثير من المفصليات كالجمبري الحفَّار). تطورت بعض هذه الحيوانات أيضًا لكي تجمع الطعامَ من التيارات التنفسية المتدفقة إلى الأسفل إلى جحورها (كمثال، الصورة ٤– ٨ب)، لكن المعظم لا تزال متقممات ومفترسات في الرواسب.



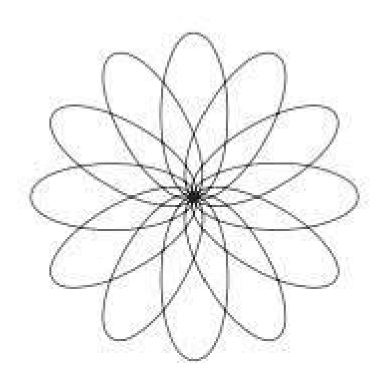
الصورة ٤– ٨ قد يكون التنفس مشكلةً عندما تحفر الديدان ذوات الجوف في رواسب فقيرة بالأكسجن. يوجد حلان تطوريان: الدودة (أ) تطوَّرت فيها مجسات ممتدة من الجوف وممتلئة بنفس مادته والتي تمتد إلى الماء للتغذية والتنفس. أما الدودة (ب) فطوَّرَتْ حركاتٍ جسدية تضخ الماءَ عبرَ جحرها، جالبةً الغذاءَ والأكْسُجِن.

تطور وتحسن الميتازوا [عديدات الخلايا التي تنتظم خلاياها في طبقتين أو أكثر]

نستطيع في العصر الحالي قراءة كامل الشفرات الجينية الخاصة ببعض الكائنات المتعضية؛ كل ما يحتاجه الأمرُ هو الوقت والمال. بالإضافة إلى ذلك، فإننا نمتلك معلوماتٍ كافيةً لأن نبدأ في تمييز سلاسل معيَّنة من الـDNA على أنها جينات، وأن نفهم ما تفعله الكثير منها في الكائن المتعضِّي الحي. كمثال، فإن كامل الجينوم (الشفرة الوراثية) الخاصة بالطفيلي المتطفل على البشر Mycoplasma genitalium [المفطورة] _وهو أصغر جينوم مُكتشَف حتى الآن_ يحتوي على ٥٨٠٠٠٠ جزيء DNA. مصنِّفين ومقطِّعين هذا الجينوم، توصل علماء الوراثة [الجينات] إلى أن Mycoplasma genitalium يمتلك ٤٨٠ جينًا تشفِّر البروتيناتِ، و٣٧ تشفر الـRNA. نفهم التركيز على البروتينات، لأنها تقوم بالكثير للغاية من وظائف الخلية؛ كبناء الليبيدات لغشاء الخلية، ونقل الفوسفات، وتفكيك الجلوكوز، وغيرها.

إن إنماء حيوان عديد الخلايا حي أكثر تعقيدًا من إنماء حيوان أَوَلِيّ (protist). فالجينوم يجب أن يحتوي على معلومات لبناء أنواع كثيرة من الخلايا بدلًا من نوع واحد فقط، والمعلومات اللازمة لإنمائهن [الخلايا] في الوقت الصحيح، ووضعهن بدقة في الجسد، وتطوير آليات التحكم والاستشعار والنقل، والتفاعلات الحيوية الكيميائية الخاصة بكامل الجسد التي تَعمَل في الكائن المتعضِّي العديد الخلايا.

البرمجة الجينية التي تُنْشِئُ حيوان ميتازوا من خلية واحدة مُفرَدة لا يَلزَم أن تحدد مواصفاتِ الخلايا المفردة واحدةً واحدةً. فكبرنامجٍ كمبيوتريٍّ مكتوبٍ على نحوٍ جيدٍ، يمكن أن تكون هناك حيل لتعزيز الفاعلية. كمثال، يستطيع المرءُ برمجةَ كمبيوترٍ ليرسم زهرةً، بتحديد حجم وشكل وموقع كل تويجة [بتلة]. لكن التويجات الخاصة بأي زهرة محدَّدة ما متشابهة نمطيًّا على الأغلب [مع الخاصة بغيرها من الزهور]، بالتالي يستطيع المرءُ استعمالَ نفسِ الشكل والحجم لكل تويجة، وأن يأمرَ الكمبيوترَ ببساطةٍ بتحريك القلم إلى المكان الملائم ورسم نفس التويجة في كل مرة (كمثال الصورة ٤– ٩).



الشكل التوضيحي ٤– ٩ يستطيع المرء إنشاء شيء معقدة من خلال الترتيب المتقَن لوحدات بسيطة جدًّا.

بنفس الطريقة، تمتلك الميتازوات [التوالي، البعديات] جينات إنشائية تبني كل جزء من الحيوان، وجينات تنظيمية تضمن أن القطعة تُبنَى في المكان السليم وفي الوقت المناسب. كمثال، تُستعمَل مجموعةٌ من الجينات التنظيمية بالتعاون مع مجموعة من الجينات المُنشِئة لفصوص أو أجزاء الجسم لبناء كل الفصوص الخاصة بكل جسدِ دودةٍ ناميةٍ. نفس النوع من الجينات التنظيمية يمكن بسهولة استعماله لبناء الأرجل في ألفية الأرجل [إحدى الحشرات كثيرات الأرجل] أو سرطان [سلطعون] مثلًا، بإعطاء الإشارة لجينٍ خاص بالرجل العددَ المناسبَ من المرات بدلًا من جينٍ إنشاء الفص أو القسم من الجسد. وبالأمر بتعديلات ضئيلة على جين الرِجل أثناء تطور النمو، تستطيع الجيناتُ التنظيمية إنشاءَ حيوانٍ ذي أرجلٍ متباينة الطول على طول جسده (كما في الحشرات)، أو بناء حيوان فقاري ذي عظام متباينة الأحجام والأشكال على طول عموده الفقري. كمثال، تمتلك أجنّةُ الثعابينِ برنامجًا جينيًّا لصنع براعم الأطراف والذي يُرينا أين كانت توضَع الأرجل قديمًا في أسلاف الثعابين. في العصر الحالي لا تتنمَّى [تتطوَّر جنينيًّا] هذه البراعم الطرفية أبدًا إلى أرجُلٍ لأن الجينات التنظيمية لا تُرسل توجيهًا بالنمو لها.

يستطيع علماء الجينات [الوراثة] المتعلقة بمراحل وعمليات تنمِّي الأجِنَّة تحديدَ الجينات التنظيمية بتفحصِ ما يحدث من خطإٍ وخَلَلٍ عندما يَتلَفُ جينٌ مُعَيَّنٌ. كنتيجةٍ لذلك، فنحن نعلم أن هناك جيناتٍ تنظيمية تتحكم في كيفية تكوين الحيوان على نحوٍ سليم، وأيها مقدمته وأيها مؤخره وظهره، وكيف يتباين شكل الحيوان على طولِ طوله أو حولَ حوافِّه. إن أكثر الاكتشافات إثارةً هو أن نفس الجينات الرئيسية المتحكِّمة تقريبًا توجد في كل الحيوانات البَعدِيَّة [الميتازوات، التوالي]. تلك الجينات المعروفة بـhomeobox _أو جينات Hox على سبيل الاختصار_ متشابهة للغاية [في كل أنواع الكائنات] بحيث أنها يجب أن تكون قد تطورت من سلفٍ مشترَكٍ. إنها مجموعاتٌ من الجينات المُنظِّمة اللصيق أحدها إلى الآخر في الـDNA. ورغم أنهن يستعملن نفسَ "البرنامج" الرئيسيّ المتحكِّمَ تقريبًا، فإنهن يستطعن بناءَ تنوعٍ مذهلٍ من أجساد الحيوانات البَعدية [الميتازوات] بإعطاء الأوامر لتنوع من الجينات الإنشائية في تنوع من الأنماط في أوقاتٍ مختلفة وأماكنَ مختلفةٍ من الأجساد. بعبارة أخرى، يجد المرءُ أن مجموعتين مختلفتين من الحيوانات البَعْدِيّة [الميتازوات] تمتلك جينات HOX متشابهة حقًّا، رغم أن الأجساد التي تُشَفِّرُ لبنائها [الخاصة بكلا المجموعتين] مختلفة جدًّا.

ما الذي يمكن أن يفعله المرءُ في حالةٍ كتلك؟ سيكون على المرء أن ينظر إلى أدلة علم تشريح الأجساد والأدلة من علم الجينات [الوراثة] سويًّا، ليقترحَ أبسطَ فرضيةٍ للربط بين هاتين المجموعتين من الحيوانات الميتازوات أحدهما مع الآخر. وتذكر أنه لا يمكن القيام بالتحليل الجيني [الوراثي] على حيواناتٍ منقرضة؛ لكنْ لعل الأدلة من خلال المتحجرات القريبة من الزمن الذي نشأت فيه في الواقع مجموعتا الحيوانات الميتازوا ستكون مفيدة، بل وحتى حيوية! وكما في أيِّ مجموعةٍ من البيانات، سوف تحدث التعارضات وتُثار الجدالات. رغم ذلك، ففي جوهر الأمر وخلاصته، فقد اتخذ التطور [لمجموعة أو نوع ما] مسارًا واحدًا، وكل عالم يحاول اكتشاف الماهية التي كانها ذلك المسارُ. إن دراسة "التطور في علاقته بالتنمِّي الجنيني evo-devo" وهو دراسة التنمي الجنيني المتعلق بالتطور يعطينا أدلةً جديدةً دراميةً. لقد ساعدتنا تبصراتٌ عن طريق التقنيات الجديدة على توضيح معالم أساسية خاصة بتطور الحيوانات البعدية [الميتازوات]، وفي كثير من الأحوال قلبَتْ الأفكارَ التي كانت مقبولةً لمئةِ سنةٍ أو أكثرَ.

جينات HOX

تمتلك حيوانات الإسفنج مجموعة واحدة من جينات HOX (وتمتلك بنيواتٍ بسيطة)، بينما تمتلك الثدييات ٣٨ مجموعة في أربع عناقيد، وتمتلك السمكة الذهبية [سمكة نهرية صينية صغيرة محمَرة ذهبية اللون] ٤٨ مجموعة في سبع عناقيد. تتحكم جينات HOX في نمو الشبكات العصبية والفصوص [أو أجزاء الجسم] والأطراف في كل الحيوانات البَعديَّة [الميتازوات]، ولا بد أن تطورها واختلافها قد ترافق مع الاختلاف والتباعد في التركيب الجسدي التشريحي والفسيولجية [وظائف الأعضاء] والإيكولُجَي [طبيعة علاقات الكائن الحي مع باقي الكائنات الحية في البيئة] والسلوك والتي نستطيع تفسيرَها واستنتاجَها من خلال سجل المتحجرات، ومن خلال الاختلاف والتباعد في الجينات والجزيئات التي نستطيع قراءتَها في الحيوانات الحية. بالتالي توفِّر جيناتُ HOX دليلًا منفصلًا لكنه مُكمِّلٌ لمساعدتنا على قراءة وتحديد التاريخ التطوري للحيوانات البَعدية [الميتازوات].

لا تحتاج الأَوَليَّات [البروتستا protists] جيناتِ HOX لتكوين بالغ عديد الخلايا. لكنْ في الحيوانات البَعديّة [الميتازوات]، قدَّمَت جيناتُ HOX طقمَ أدواتٍ جينيةٍ لتوجيه إنشاء حيوانات معقَّدة حية. تتحكم جيناتُ HOX في كيفية إنشاء حيوان الإسفنج والتي تعطي فعالية لتيارات الماء المارّة خلال جسدِه. في أبسط الديدان، تُنشئ جيناتُ HOX الشبكاتِ العصبيةَ التي تُمكِّن الدودةَ من الإحساسِ بالبيئةِ حولَها على طولِ جسدها. أينما وحيثما وكيفما تطورت البعديات [الميتازوات] المبكرة، فقد أمكنها التشعب سريعًا إلى تنوع كبير من الأشكال والبنيوات الجسدية، مع عمل الانتخاب الطبيعي على نحو سريع متساوٍ لإزالة الأشكال التي كانت تكيفاتٍ رديئةً، تاركًا لنا سجل قصاصات [سجل متحجرات غير مكتمل] بالنماذج الأولية الأصلية الناجحة التي تكاثرت.

تنوع الميتازوا

عندما تختلف مجموعة من الحيوانات جذريًّا عن أخرى، وتُعتبَر أيضًا فرعًا تطوريًّا، تطور من نوعٍ سلفٍ مُفرَدٍ ما (انظر الفصل الثالث)، فإنها تُدعى شُعبَةً، والتي تُحدَّد وتُعرَّف ببنيتها الجسدية الخاصة وعلاقاتها الإيكولُجية وتاريخها التطوري. إن الرخويات والمفصليات شعبتان مألوفتان، ولا بد أنهما امتلكتا قديمًا سلفًا ميتازويًّا [بعديًّا] متناظرَ الجانبين مشترَكًا، لكن ذلك السلف لم يكن حيوانًا رخويًّا ولا مفصليًّا (بالتعريف وبالحس المشترك أيضًا). توجد جدالات حول عدد الشعب الخاصة بالحيوانات الميتازوية الحية، وذلك في معظمه بسبب وجود تنوع مذهل محيِّر من الكائنات المتعضية الشبيهة بالديدان، لكن معظم العلماء سيُعدِّدون حوالَيْ ٣٠ شُعبةً. ولأن الكائنات ذوات الأجزاء الصلبة فقط هي التي يَسْهُل تحجرُها والتعرف عليها كمتحجرات، فإن تسع أو عشر شعب فقط هي المهمة في علم المتحجرات والأحياء العتيقة (المستطيل التلخيصي ٤– ١).

المستطيل التلخيصي ٤– ١ الشعب الرئيسية الخاصة بمتحجرات اللافقاريات والفقاريات

(العلامة † تدل على مجموعة منقرضة)

– المُثَقَّبات أو الإسفنجيات (وتتضمن † القدحيات البدائية أو الكأسيات العتيقة [كائنات بحرية تنتمي لشعبة الإسفنجيات العتيقة وتتميز بهيكل قمعي أو كأسي مكون من كربونات الكالسيوم] Archaeocyatha)
– اللواسع
– الحيوانات الطحلبية Bryozoa [bryozoans حيوانات مائية من أشباه الديدان]
– عضديات الأقدام أو المسرجانيات
– الرخويَّات
– شوكيات الجلد
– النصف أو الشبه حبليات [حبليات عديمة الهيكل] (بما في ذلك † الخطيَّات أو الجرابتوليتات graptolites)
– الحبليَّات (بما في ذلك الفقاريَّات)

إنه لمدهشٌ أن ندرك أن كل هذه الشعب ما عدا الحيوانات الطحلبية معروفة من صخور العصر الكامبري المبكر، فيما بين ٥٤٠ و ٥٢٠ مليون سنة ماضية، إلا أن اثنتين منهن فقط معروفتان يقينًا في صخور أقدم من العصر الكامبري. هذا يعني شيئين، كما يبدو: أولًا، أنه قد كان هناك تدفقٌ "انفجاريٌ" للتطور عند بداية العصر الكامبري، وثانيًا، أننا لا نملك سجلًا أحفوريًا لتطور الميتازوات التي أدت إلى نشأة الشُعَب التي نعرفها في العصر الحالي.

وبدون أدلة من المتحجرات على تاريخ تشعب الميتازوات، فإننا بالتالي مضطرون للنظر إلى الأدلة من خلال متحدراتها الحية بعد حوالي نصف مليار سنة لاحقًا، وأن نأمل أن تخبرنا ببعض ما يشبه الحقيقة! وأن يأمل المرء أن النتائج ستكون متوافقةً مع السجل الأحفوري الثريّ الذي يبدأ مع صخور العصر الكامبري.

كما قد رأينا، فإن أبسط ميتازوات هي الإسفنجيات واللواسع. تطرح متناظرات الجوانب أكثرَ من مشكلةٍ؛ فهي كلها معقدة وثلاثية الأبعاد، وكلها تمتلك جيناتِ HOX تتحكم في وضع البنيوات [التراكيب] في أماكنها الملائمة على طول محور تناظرها. يَصعُب العثور على أسباب مقنعة لتصنيفهن على أساس التفرع التطوري، باستعمال الحجج التقليدية من علم التشريح أو الإيكولُجِي. لكن الأدلة من علم البيولُجي الجزيئية والجينية قد ساعدتنا على مواجهة المشكلة.

متناظرات الجانبين المتطورة تتمثل في ثلاث مجموعات من الشعب، وهي تحديدًا Ecdysozoa مبدلات الجلد و Lophotrochozoa [ذوات المجسات السوطية أو حاملات الخصلة، العَجَلانيات العرفية، رتبة العجلانيات وذوات الخصلة، أو ذوات الأهداب Lophophorates أو حاملات لوامس التغذية والتنفس، جهاز ميكانيكية التنفس Lophophore] و Deuterostomia ذوات الفتحتين [الفم والشرج].

مبدلات الجلد أو المنسلِخات هي حيوانات تغيِّر جلودَها الخارجية أثناء نموها. تبديل الجلد سمة مميزة للمفصليات _كمثال_ وبالنسبة للكثير منها فإنها عبءٌ تطوريٌ. فالسرطانات [السلطعونات، الكابوريا] والكركند [جراد البحر، الإستاكوزا] يجب أن يبدلن جلودهن الكثيرَ من المرات خلال سنوات حيواتهن "الطبيعية العادية"، وفي كل مرة يقمن بذلك يكنَّ عُرضةً للهجوم من المفترِسات ويجب أن يقضين وقتًا طويلًا مختبئاتٍ بينما تتصلَّب أغلفتهن. وجدت بعض المنسلخات طريقةً لتجنب هذا القيد التطوري؛ فالحشرات لا يبدلن أغلفتهن عندما يصرن بالغات. رغم ذلك، فإنهن يستطعن القيامَ بذلك بأن يكون لهن حياة قصيرة جدًا كبالغين، ومع كون كل نموهن يحدث في مراحل الحياة الأبكر (كيرقات). الحياة القصيرة كبالغين وسيلة متطرفة لكنها ناجحة لتجنب قيد تطوري كبير! فمن جهة سجل المتحجرات وبقدر ما يتعلق الأمر به، فإن المفصليات هن الممثلات المهيمنة الغالبة للمنسلِخات.

أما الـLophotrochozoa [العَجَلانيات العرفية [١]، رتبة العجلانيات وذوات الخصلة، أو حاملات لوامس التغذية والتنفس، جهاز ميكانيكية التنفس Lophophore] فهي حيوانات ذوات يرقات ضئيلة غير واضحة طريفة وذوات طريقة حياة تتضمن في الأصل تغذية عبر الترشيح من الماء. إن عضديات الأقدام والحيوانات الطحلبية مجموعتان هامتان في السجل الأحفوري لهذه الرتبة، أما الديدان فلها سجل أحفوري رديء، وأما الرخويات فهي معروفة جيدًا ولها متحجرات جيدة ومدروسة جيدًا وبالتأكيد أكثر تنوعًا إيكولُجيًا [في الأدوار البيئية، إحاثيًا].

---

١ ملاحظة: العجلانيات العرفية بالإنجليزية Lophotrochozoa :إحدى المجموعتين الرئيسيتين للحيوانات أولية الفم protostome animals

التصنيف: تتضمن هذه المجموعة التصنيفية الشعب التالية:

مجموعة العجلانيات: رخويات، ديدان مقسمة، ديدان الفستق أو مثيعبيات، خرطوميات الجوف

مجموعة حاملات الخصلة: ذراعيات الأرجل، ديدان حدوية، خارجيات الشرج، داخليات الشرج

في الشعب الأربع الأولى، هناك مجموعات تنتج يرقات larvae عجلية الشكل trochoid دولابية الشكل trochophore (تملك حزمتين من الأسواط cilia حول منتصفها. في البداية عوملت هذه المجموعة مثل العجلانيات Trochozoa، مع مفصليات الأرجل arthropod التي لا تنتج يرقات عجلانية trochophore larvae لكنها تعتبر أقرباء وثيقين close relatives للأنيليدات annelid لأن كليهما مقسم segmented الجسم. لكن نتيجة عدد من الفوارق المهمة فإن مفصليات الأرجل arthropods توضع حاليا ضمن الانسلاخيات Ecdysozoa

أما الشعب الأربع الأخرى فيجمعها وجود حامل الخصلة lophophore، مجموعة مجسات سوطية ciliated tentacles تحيط بالفم، وتعامل معا على أنها حاملات الخصلة lophophorates ما هو غير اعتيادي أنها تظهر انقساما قطريا، وبعض المؤلفين والباحثين اعتبرونها ثانويات الفمdeuterostome ، قبل أن تؤكد الأشجار الوراثية الرناوية موضعها مع العجلانيات trochozoans معا.

أما Deuterostomia ذوات الفتحتين فيبدو أنها كان لها في الأصل أيضًا أهداب تغذية مرشِّحة ويرقات تطفو، لكن يرقاتها مختلفة للغاية عن اليرقات الخاصة بالعَجَلانيات العُرفية بحيث أنها لا يمكن أن تنتمي إلى نفس الفرع التطوري. ذوات الفتحتين تتضمن شوكيات الجلد (نجوم البحر وأقاربها) والحَبْلِيَّات (بما فيها نحن) ومجموعات ثانوية أخرى ذات قرابة.

تتضمن التخميناتُ الحالية اقتراحًا بأنه كانت هناك فترة طويلة للغاية تباعدت [اختلفت، انتوعت] خلالها متناظرات الجانبين السلفية عن باقي الميتازوات [البَعديَّات]، متطوِّرًا فيها ربما سبع مجموعات من جيناتِ HOX كما قد حدث فيها. ربما بدت هذه المتناظرات الجانبين مشابهة للديدان المفلطحة، أو ربما مثل اليرقات العوالق الطافية الخاصة بالديدان المفلطحة. ثم _ربما قُبَيْل العصر الكامبري بقليل، عند حوالي ٥٥٥ مليون سنة ماضية_ أصبحت متناظراتُ الجانبينِ كبيرةً على نحوٍ كافٍ لترك آثارٍ على رواسبِ قاعِ البحر. خلال ذلك الزمن انتوعت [تباعدت، اختلفت] الثلاثُ مجموعاتٍ من متناظرات الجانبين، لكنْ بطرقٍ لم تترك أيَّ سجلٍ لمتحجرات الأجسادِ ذي أهمية أو معنى. وآخرَ الأمرِ، انقسمت المجموعاتُ إلى الشُعَبِ التي قد تَركَتْ بالفعل سجلَ متحجراتٍ ثريٍّ، بدءًا من مُستهَلِّ العصر الكامبري.

لكن هناك التفافة [تطور مفاجئ] إيكولُجية [ذات علاقة بالوظيفة البيئية] في تطور متناظرات الجانبين. فكل الميتازوات [البَعديَّات] البسيطة تُنشِئُ أجِنَّةً عندما تشر في الانقسام الخلوي من البيضة [الزيجوت]. وتُنشئ كل الميتازوات البسيطة نفسَ النوع من الأجنة تقريبًا، بدون استعمال جينات HOX الخاصة بها. ثم تتنمَّى [تتطوَّر جنينيًّا] إلى يرقات حرة الاعتياش تتغذى كعوالقَ [طافيةً في الماء]. وتكُنُّ متناظراتِ الجانبين، ومُكوَّنةً كلٌّ منها من حوالي ٢٠٠ خليةٍ ذوات أنواع خلوية قليلة فقط. ومع نهاية مرحلة اليرقة [أو اليرقانة]، فإن الخلايا التي كانت موجودة ببساطة في اليرقة، بدون وظائف متخصصة خاصة، تبدأ في الانقسام والتنظُّم والتموضع في أماكن معيَّنة والتباين [الاختلاف] تحت توجيه جينات HOX لتكوينِ حيوانٍ ميتازوي [بَعدِيٍّ] لا يحمل في العادة أي تشابه مع اليرقة التي كانها، ويكون له في العادة موطن ودور بيئي [إيكولُجيَّة] مختلف تمامًا.

إن اكتشاف أن هذا النوع من التَنَمِّي الجنينيِّ يحدث في كل الميتازويات البسيطة أدّى إلى الاقتراح بأن متناظرات الجانبين الأقدم كن حيواناتٍ عوالقَ ضئيلةً بدت مشابهة وكان لها دور مشابه للمراحل اليرقية البسيطة الخاصة بمتحدراتها المعاصرة. فكانت تطفو وتتغذى كعوالق. وكانت هذه الميتازويات البالغة بالتأكيد ضئيلة ولينة الأجساد، ولا يُرجَّح أن تتحجر، حتى عندما انتوعت بعضها عن بعضها الآخر. لو صح هذا السيناريو، فسينسجم مع الافتقار لسجلٍ أحفوريٍّ خاصٍّ بالميتازويات لزمنٍ طويلٍ قبلَ كامبريٍّ، تلاهُ ظهورُ أنواعٍ مختلفة كثيرة من الميتازويات الكبيرة في "الانفجار الكامبري" البيولُجي.

في هذا السيناريو، أدّى تنمي جنيني أكثر تعقيدًا _بما في ذلك تحول جذري حينما تتحول اليرقة إلى كائن بالغ، ودور أكبر بكثير لجينات HOX، إلى التطور "الانفجاري" للكثير من الشُعَب المختلفة الكثيرة في العصر الكامبري. بالإضافة إلى ذلك، أدى تطويرهن للحجم الكبير إلى "اجتياحهن" لمواطن قاع البحر، الذي كان متاحًا حديثًا لأول مرة مع وجود إمداد أكبر بالأُكْسُجِن في ماء المحيط، وممتلئًا برواسب غنية بالمواد العضوية والتي لم تكن قد استُغِلَّتْ بعدُ آنذاكَ. ربما لم تكن صدفةً أن الكثير للغاية من حيوانات العصر الكامبري كانت "ديدانًا" ومتغذياتٍ على الرواسب ساكنةً قاع البحر.

كوكبُ أرضٍ ثلجيٌّ أم ثلجيٌّ نصفُ ذائبٍ

حديثًا، أَكَّدَتْ أدلةٌ أن كوكب الأرض قد مر بسلسلة من العصور الباردة [الجليدية] الدرامية [المفاجئة] في أواخر دهر طلائع الحياة [دهر أشكال الحياة البدائية Proterozoic]، ربما ما بين ٧٥٠ مليون سنة إلى ٦٠٠ مليون سنة ماضية. تحتوي الكثير من الرواسب من هذا العهد على حطام مَثلجي أو بَسيس جليدي [مخلفات الجليد من الرواسب، التي جلبها ورسَّبَها الجليد glacial debris]، والكثير منها يوجد في مناطق كانت توجد على نحو موثوق قرب خط الاستواء في ذلك الزمن (من خلال إعادة بناء شكل الكرة الأرضية في ذلك الزمن). تدل هذه الرواسب على تجلد هائل وواسع الانتشار[1]، أكثر شمولًا وانتشارًا من أي تجلُّد حدث منذ ذلك الحين. الفترة الزمنية الخاصة بأواخر دهر أشكال الحياة البداية التي تضمنت العصور الجليدية درج على تسميتها بالعصر الجَمَديّ [الجليديّ] Cryogenic period، وتُعرَف عادةً أحدُ السيناريوهات التي تحاول شرح انتشارها الواسع باسم "كوكب الأرض

[1] Glaciation التجلد أو الغمر بالجليد: تراكم الثلج ومسطحات التثليج وزوالها ونشاطها الجيولُجي من حت وترسيب، وما يشتمل عليه من تقدم وتراجع الجليد فوق مساحة معينة، وما يصاحب ذلك من تغير سطح الأرض بالتحاتِ والترسب بفعل المثالج، وما ينتج عن هذا من تشكيلٍ لسطح الأرض وترك معالم أرضية تدل على ذلك

الثلجي". علاوةً على ذلك، فقد اقْتُرِحَ أن هناك صلة سببية بين تجمد كوكب الأرض وتشعب الميتازويات [الحيوانات البَعْدِيَّة]؛ حيث أن الأحداث الفيزيائية الدرامية المفاجئة على كوكب الأرض قد عزَّزَتْ التشعُّبَ.

نموذج أو سيناريو كوكب الأرض المتجمد_ حسبما شرحه بول هُفْمِنْ و دان سْكراج Paul Hoffman and Dan Schrag_ يقترح أن سطح المحيط كان متجمدًا في كل مكانٍ حتى خط الاستواء (ما عدا حيثُما توجد البراكين). انخفضت درجات حرارة السطح إلى حوالي −٤٠° درجة مئوية. وعندما انتشر الجليد، أُحْبِطَ [عُطِّل] البناء الضوئي، وماتت معظم أشكال الحياة في المحيط واحدًا تلوَ الآخَر. في الحقيقة، كانت أشكال الحياة الناجية الوحيدة هي التي كانت تعيش حول الفجوات أو الفتحات الأنبوبية البركانية في قاع البحر[١]، و(ربما) في الثلج السطحي. بالتالي انعكست الكثير من الأشعة الشمسية مرتدَّةً إلى الفضاء لدرجة أنك كنت ستحسَب أن كوكب الأرض قد علِقَ على نحوٍ دائمٍ في وضعِ كوكبِ أرضٍ متجمدٍ.

رغم ذلك، استمرت البراكين في الانفجار والنفث، واضعةً من جديدٍ ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، حتى صار هناك مجدَّدًا مرةً أخرى كمية كافية من ثاني أكسيد الكربون لحبس الحرارة الشمسية وإذابة الثلج. رغم ذلك، تقترح الحسابات أن تفكيك قبضة الثلج عن كوكب الأرض احتاجت كمية هائلة من ثاني أكسيد الكربون. لم يذب الثلج حتى نفثت البراكين كمية من ثاني أكسيد الكربون حوالي ٣٥٠ ضعفَ ما يوجد في غلافنا الجوي الحالي.

ذاب الثلج بعدَئذٍ سريعًا، لكن الخزين الهائل من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أدخلَ كوكبَ الأرضِ بكامله في فترةِ سخونة كـ"الصوبة الزجاجية"، مع درجات حرارة بمتوسط حوالي ٤٠° درجة مئوية (١٢٠ فهرنهايت). وأثَّرَت بعد ذلك أمطار حمضية هائلة على القارات المعقَّمة [من الحياة]، وكان المحيطُ مُشبَعًا بالكربونات، وترسبت الأحجار الجيرية سريعًا جدًّا على أعلى الأحجار ذوات المصدر المثلجي في تكوُّنِها. آخر الأمر، أخفضَتْ التجويةُ وعمليةُ البناءِ الضوئي معدَّلاتِ ثاني أكسيد الكربون، واستعاد العالَمُ عافيتُه البيولُجية. رغم ذلك، فإن العوامل الجغرافية المُسَبِّبة التي أطْلَقَتْ دورةَ عصرِ كوكب الأرض المثلج كانت لا تزال موجودةً، لذلك فإن تلك الدورة كَرَّرَتْ نفسَها بعد ذلك، ربما بحدود حوالي أربع مراتٍ.

يعتقد بعض العلماء أن سيناريو كوكب الأرض المثلج أكثر شدة مما يوحي به الدليلُ، وأن الارتباط المُقتَرَح بين كوكب الأرض المتجمد وتشعُّب الميتازويات [الحيوانات البعدية] غيرُ مُحتَمَلٍ للغاية. سوف أجادِل لصالح [فرضية] كوكب أرض نصف متجمد أكثر اعتدالًا والذي كان رغم ذلك عاملًا مؤثِّرًا هامًّا على تاريخ تطور أشكال الحياة. فبدلًا من الضغط على الميتازويات وتخفيضها حتى الانقراض تقريبًا، أجادِل بأن كوكب الأرض النصف متجمد وفَّرَ بيئةً كانت مفيدة على نحو فريد بالنسبة للعوالق. في فردوس العوالق ذاكَ، مرت أشكال الحياة الحقيقية النواة عبر مرشِّحٍ تطوريٍّ انتخابيٍّ عزَّزَ تشعُّبَ الكائنات الميتازوية المجهرية المعتاشة كعوالقَ. عندما انتهى عصر كوكب الأرض النصف متجمد، تطورت تلك الميتازويات المجهرية سريعًا _وربما بطريقة انفجارية_ إلى الميتازويات الأكبر والأكثر تنوعًا إيكولُجيًّا [في الأدوار البيئية] والتي نراها في سجل متحجرات العصرين الإدياكاري Ediacaran (عصر قبل كامبري، آخر فترة من دهر طلائع الحياة البدائية، بدأ منذ حوالي ٦٣٠ مليون سنة ماضية وانتهى عند حوالي ٥٤٢ مليون سنة ماضية) والكامبري.

تتضمن الرواسبُ الثلجيةُ حجارةَ التقطيرِ أو الهوابط[٢]، والتي سقطت من الجبال الجليدية الطافية إلى رواسب قاع البحر الطرية. لا بد أن تلك الجبال الثلجية كانت طافيةً في مياه مفتوحة[٣]. تؤيد مفهومَ فرضيةِ كوكب الأرض النصف متجمد النماذجُ الكمبيوترية المناخية التي تحسب حسابَ مناخٍ مستقرٍّ، مع صفائح ثلجية قارية في خطوط العرض المنخفضة وثلج بحري طافٍ فوق معظم أجزاء محيطات العالَم. تتصور هذه النماذجُ مياهًا مدارية مفتوحة (بين ٢٥ درجة شمالًا و٢٥ درجة جنوبًا، أيْ حوالي ٤٠% من أسطح المحيطات المفتوحة في العصر الحالي)، في درجات حرارة باردة إلى معتدلة (تصل إلى حوالي ١٠ درجات مئوية عند خط الاستواء). بهذا النموذج فإن للغلاف الجوي حوالي 5 ,2 ضعف مرة فقط من ثاني أكسيد الكربون الموجود في العصر الحالي، وتتضمن فرضية استقرار النموذج أن أيَّ زيادة صغيرة في تلك المستويات سوف تَرُدُّ الظروفَ إلى حالة "كوكب الأرض الطبيعي"، بدون حالة الصوبة الزجاجية الشديدة [الاحتباس الحراري] التي تفترضها فرضية كوكب الأرض المتجمد. بالإضافة إلى ذلك، تكون الجراثيم المنتِجة للميثان

[1] الفجوات أو المنافس أو الأعناق البركانية، فتحات التهوية البركانية: مخارج قصبات بركانية رأسية في القشرة الأرضية تسمح بخروج الأبخرة والغازات من باطن الأرض.

[2] الهوابط: عمدان نازلة من كربونات الكالسيوم نازلة في مغارة رسوبية النشأة، كالسيت أو راسب معدني آخر يتكون في كهوف أو مغارات بواسطة قَطْرِ الماء.

[3] مياه مفتوحة: مساحة كبيرة نسبيًّا ذات مياه إبحارية حرة في إقليم مليء بالجليد، فهو جسم مائي يقل تركيز الجليد فيه عن ثمن أو عشر. أيضًا يعني المصطلح ماءً بحيريًّا يبقى غير متجمد أو غير مغطى بالجليد أثناء الشتاء.

methanogens في المياه الفقيرة بالأُكسُجِن أو عديمته [والمناسبة لحياتها] تحت الثلج قد استطاعت إنتاج وإطلاق كمية كافية من الميثان لمنع حالةِ كوكبِ أرضٍ متجمدٍ [تمامًا] متطرفةٍ شديدةٍ.

والأكثر أهميةً من جهة التطور وعلم المتحجرات وأشكال الحياة القديمة، أنـي أقترح أن كوكب الأرض النصف متجمد قد عمل على احتضان نشأة الميتازويات وتطورها المبكر، على النحو التالي: سرعان ما صارت مياه المحيطات تحت صفائح الثلج النصف ذائبة فقيرة أو عديمة الأُكْسُجِن كلها وصولًا إلى الثلج الذي على سطح الماء [وما عداه]. أُبيدَتْ حقيقيات الأنوية والميتازويات (لو كان قد وُجِدَ أيٌّ منها في ذلك الزمن) من تحت الثلوج ومن قيعان المحيطات التي احتوت على "أشكال بيولُجية عتيقة" خاصة بالبكتيريا اللاهوائية والعتيقات Archaea.

كانت الظروف في المياه السطحية المفتوحة الخاصة بالخطوط المَداريَّة [الاستوائية] مختلفة جذريًّا. فهناك لم يكن يوجد إلا القليل من التقلبات الموسمية أو لا تقلبات في الطقس. وَفَّرَتْ التعريةُ النشطة بفعل أنهار الجليد الجبلية أو المثالج[1] على القارات الاستوائية إمدادًا ثابتًا طوال العام بالمواد المغذية للأرفف الثلجية[2] على طول الشواطئ الساحلية و _من خلال الجبال الثلجية[3]_ إلى المياه المحيطة. الإثراء بالحديد من التراب المَذْرُوّ بالرياح كان تكملةً مهمةً للإمداد الغذائي "العادي الطبيعي". وكانت الأشعة الشمسية في المناطق المداريّة منتظمةً وشديدة، أيًّا ما كانت درجة حرارة السطح. وفي مياه المحيطات، كان هناك نقل عمودي وصعود تيار ماء العمق إلى السطح مليئًا بالمواد الغذائية في المناطق المدارية المفتوحة، مثل الصعود الدائم للماء الباطني للسطح في نقطة الالتقاء الجنوبية في العصر الحالي[4]، أو على طولِ خط الاستواء.

دَعَمَتْ مياه السطح المدارية الثرية بالمواد الغذائية الخاصة بكوكب الأرض النصف متجمد إنتاجية درامية [كبيرة] طوال السنة، غيرَ مُقاطَعةٍ بالظلام الموسمي الذي يُخفِض إنتاجية القطب الجنوبي في العصر الحالي في أشهُر الشتاء. تدهور واضمحلال إنتاجية قيعان البحار عن إنتاجية سطح الماء أدى إلى انعدام الأكسجن أو ندرته في قيعان البحار المدارية، مهما كانت درجة ثراء طبقات الماء السطحية بالأكسجن. هذا يتوافق مع الأدلة على ترسب رواسب غنية بالحديد على قيعان البحار خلال العصور الجليدية.

كانت هذه المياه السطحية المدارية الخاصة بكوكب الأرض النصف متجمد فردوسًا للعوالق، ربما لا شبيهَ له اليومَ سوى منطقة ماء العمق الصاعد قرب شاطئ بيرو. وعلى وجه الخصوص، وفَّرَتْ الإنتاجيةُ المستمرة الغير عادية على طول خط الاستواء في عصر كوكب الأرض النصف متجمد كثيرًا من الأُكْسُجِن في المياه السطحية، وانطلاقة [وضعًا، خلفيةً] مثالية لتطور مفترسات ميتازوية [بَعديَّة] مجهرية صغيرة _لكنها فعالة كفؤة_ في عوالق الماء السطحي.

تتطلب [تفترض] فرضيةُ الأرض المثلجة كارثةً طبيعية لإطلاق ثورةٍ تطور الميتازويات. هذا ببساطة غير ممكن الحدوث؛ فالكوارث والأزمات الكبرى تُسبِّب في الحقيقة انقرضاتٍ كبرى جماعية. إن الإزالة المتكررة للأكسجن من المحيط ليست طريقة تشجيع واحتضان تطور الميتازويات. كان الناجون حقيقيو النواة في كوكب الأرض المتجمد سيكونون قلائل في الحقيقة. من ناحية أخرى وبالمقارنة، كانت حقيقيات النواة ستزدهر في المياه المدارية [الاستوائية] في كوكب الأرض نصف المتجمد. فكانت ستكون هناك فردوس فعلية للأَوِلِيَّات [البروتستا protists] وللميتازويات الضئيلة التي تخصصت في التغذِّي عليها.

كما قد رأينا، فالأدلة من خلال النظر إلى أجِنَّة الميتازويات تقترح بقوة أن كل الميتازويات الأقدم الأبكر كانت ميتازويات مجهرية [ميكروسكوبية] ضئيلة بدت مثل المراحل اليرقية الخاصة بالميتازويات البسيطة في العصر الحالي، ومختلفة تمامًا عن المراحل البالغة الخاصة بمتحدِّراتِها المعاصرة. لقد كانت

---

[1] المثالج أو المُجّمدات أو الجليد المتبلور، وهو كساء أو أغطية من الجليد سميكة وربما تغطي مساحات كبيرة أو تكون في أودية أو على قمم الجبال، وتظهر بهيئة كتلة هائلة من الثلج أو الجليد المتبلور المتحرك

[2] الأرفف أو الأرصفة الجليدية المثلجية السميكة الطافية على البحر وعامةً تقع في خِلجان ساحلية مطوَّقة، وتعرف كذلك بالحواجز الجليدية وهي كتل من الجليد ذات امتداد عظيم وتعوق الملاحة البحرية، كما في منطقة القطب الجنوبي في العصر الحاليّ.

[3] الجبال الثلجية: كتل ضخمة من الجليد انفصلت عن مثالج يعني عن أنهار جليدية وسقطت في البحر طافية فيه

[4] نقطة تقابل أو التقاء: تيارات محيطية أو كتل مائية ذوات اختلاف في الكثافة ودرجات الحرارة والملوحة، مما ينتج عنه غور أو نزول الماء الأكثف والأبرد والأكثر ملوحةً.

كلها عوالقَ تتغذى على البكتيريا والأَوَلِيَّات. وتكاثرت بهذه الأحجام الصغيرة جدًّا، ربما بقدرٍ كبيرٍ من الانتساخ الخلوي المتطابق (كما تفعل برقات الجلدشوكيات في العصر الحالي). إعادات التصور هذه للإيكولُجية [الأدوار والوظائف البيئية] تكون مفهومة في ضوء مستويات الأكسُجِن في المحيطات "العادية" الخاصة بأواخر عصر أشكال الحياة البدائية؛ حيث كانت على الأرجح في أعلى مستوياتها في طبقات المياه السطحية حيث كان يحدث البناء الضوئي، وعلى الأرجح منخفض جدًّا في رواسب قيعان المحيطات.

بعد آخر فترة تجمد ثلجي نصف ذائب لكوكب الأرض، كانت الأَوَلِيّات والميتازويات [البعديات] المجهرية قادرة على استغلال قيعان البحار والتي تراكمت فيها الرواسب العضوية طوال فترة عصور التجلد. في هذا الوضع، أمكن للميتازويات المجهرية تطوير تكيفاتٍ للزحف والتغذي على الرواسب، بتطوير مجموعات جينات HOX التي تُنْشِئ لواحق استشعارية وتحريكية [للتحرك] ملائمة في الميتازويات البالغة الأكبر المتغيِّرة. يمكن أن تكون ميتازويات كالإسفنجيات قد تكيفت مع الحياة في قيعان البحار بالتخصص في إمساك البكتيريا. أما اللواسع فلعلها كانت من قبل متغذيات كبيرة على العوالق وربما طورت تكوين الكائن الجوفمعوي (البوليب) عديم الساق في ذلك الزمن. أستطيع تصورَ هذه المخلوقاتِ تتطور سريعًا إلى ميتازويات ناسبتها تلك الظروف؛ فالإسفنجيات تُرَشِّح الماء لإمساك البكتيريا، واللواسع مبنية على نحو أساسي من صفائح رفيعة من النسيج الذي يمتص الجزيئاتِ العضوية، والديدان الصغيرة المتغذية على الطين على قيعان البحار.

هناك دليل جيولُجي كيميائي على أن المحتوى الكربوني الخاص برواسب قيعان البحار انخفضت على نحوٍ دراميٍّ [كبير ومفاجئ] بعد انتهاء العصور الجليديّة [الجَمَدِيّة]؛ وأنا أقترح أن هذا نتيجة استعمار قيعان البحار لأول مرة من جانب ميتازيات ضئيلة ثم صارت أكبرَ.

في النهاية، ربما مَنعَ تطور الميتازويات الأكبر حجمًا تكرار العصور الجليدية القصوى الشديدة التي كانت قد أدَّتْ إلى كوكبِ أرضٍ متجمد أو ثلجيٍّ نصفِ ذائبٍ. لم يعد يمكن لإنتاجية سطح الماء تخفيض مستويات ثاني أكسيد الكربون إلى مستويات منخفضة بشكل حَرِجٍ لأن الكائنات المنتِجة [القائمة بالتمثيل الضوئي] كانت تأكلها المفترساتُ الجديدة المعتاشةُ كعوالقَ (الميتازويات الصغيرة أو التي في المرحلة اليرقية). نقَّبَتْ الحافرات الميتازوية الأقوى (المفصليات والديدان مقسَّمة الجسد) عن الكربون في طين قيعان البحار وأعادت تدويره إلى ثاني أكسيد الكربون. واعترضت المُستعمَرات الأعلى في المياه القريبة من الشواطئ المواد الغذائية قبل أن تصل إلى مياه أسطح المحيطات.

عندما تطورت الميتازويات المجهرية إلى ميتازويات وشغلت عددًا كبيرًا من الكُوَّات البيئية [الأدوار أو الوظائف الإيكولُجية، طرق الاعتياش]، نرى حينذاك التشعُّب الحادث في العصر القِتْدِياني الكامبري. لقد جادل علماء الجينات [الوراثة] ولا يزالون بأن أصول الميتازويات متجذرة في العصر قبل الكامبري، في حين جادل علماء المتحجرات وأشكال الحياة القديمة بأنه لو كان الأمرُ كذلك، فلا أدلةَ من المتحجرات عليها. يَحلُّ هذا الخلافَ [أو الجدال] سيناريو كوكب الأرض الثلجي النصف ذائب المُلخَّص هنا. لعل Simon Conway Morris قد استعمل استعارة مجازية طريفة حينما كتب: "إن محرِّك [مُوْتور] الانفجار البيولُجي الكامبري كان إلى حد كبير إيكولُجيًّا" [أيْ متعلقًا بالأدوار البيئة أو أساليب الاعتياش المتاحة للتكيف معها_م]. لكنْ واضحٌ أنه مُحِقٌّ. في الفصل التالي سوف نرى كيف حدثَ ذلك.

الفصل الخامس

الانفجار الكامبري

حيوانات العصر الإدياكاري (الڤِنْدياني)

عندما عادت الظروف إلى الوضع "الطبيعي" بعد العصور الجليدية القُصوى _سواء أكانت ثلجية أم ثلجية نصف ذائبة_ نجد أقدم سجل متحجرات معقول لحيواناتٍ في صخور أواخر دهر أشكال الحياة البدائية، منذ حوالي ٥٧٥ مليون سنة ماضية. في أستراليا لا تزال الصخور التي وُضِعَت في ذلك الزمن تحمل آثارَ حيواناتٍ لَيِّنة الأجساد (الصورة ٥– ١). تُمثِّل تلك الحيواناتُ الحياة الحيوانية الخاصة بالعصر الإدياكاري، المُسمَّى على اسم منطقة المضيق الجبلي [أو خور، الوادي العميق الضيق، خُوَينق] إدياكارا Ediacara في سلاسل جبال Flinders قُربَ Adelaide، والتي عُثِرَ فيها على تلك الصخور. أما أشكال الحياة الحيوانية العتيقة الڤِنْدِيانيّة فقد سُمِّيَتْ كذلك لأجْل المتحجرات المعثور عليها من نفس النوع ونفس العصر في منطقة ڤِنْدِيانْ Vendian في شماليِّ روسيا، [فالاسمان مترادفان].

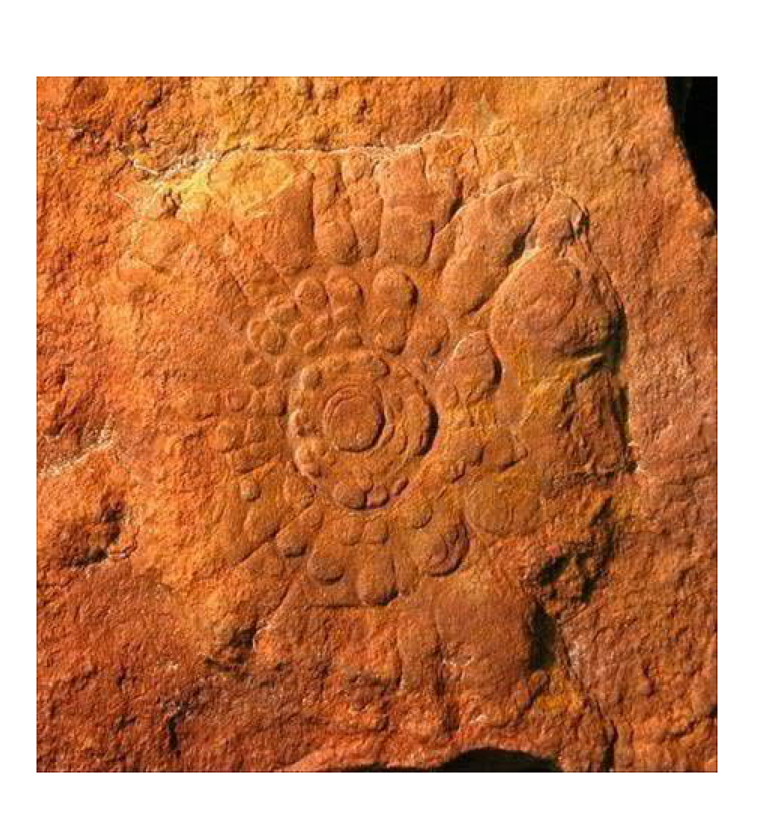
جُمِعَت ولا تزال تُجمَع آلافٌ من المتحجرات الإدياكاريّة على مستوى العالَم من الكثير من المواقع المختلفة. توجد كل تلك المتحجرات تقريبًا فيما بين زمن ٥٧٥ و٥٤٣ مليون سنة ماضية، مع أقصى وفرة وتنوع خلال آخر فترة زمنية من ٥٥٥ إلى ٥٤٣ مليون سنة ماضية. بعد ذلك، يبدو أن معظم الحيوانات الإدياكارية قد انقرضت، ولم تترك على الأرجح معظمُها متحدِّراتٍ؛ بينما انحدر من البعض الآخر بعضُ الحيوانات الكامبرية التي تلتها.

هناك القليل من الإسفنجيات ومتناظرات الجانبين، لكن معظم المتحجرات الإدياكارية هي للواسع من نوعٍ ما. طفت قناديلُ البحرِ العتيقة مثل أقاربها الحية المعاصرة، وجَنَحَتْ على الشواطئ بنفس الطريقة التي تحدث لأقاربها اليوم (الصورة ٥– ٢). كانت مستعمَراتُ أقلام البحر [نوع من أنواع المرجان البحري الرخو] ملتصقةً بقيعان البحار. تبدو أقلام البحر مثلَ النباتاتِ، لكنها لواسع تأسر وتأكل الحيوانات الطافية في الماء.

بعض المتحجرات الإدياكارية الأخرى تعود إلى ديدان طافت [اعتاشت] في قيعان البحار. بعضها تلوَّثْ في الرواسب السطحية؛ وبعضها مشت على حِزَمِ الزوائد الموجودة على فصوص أجسادها. إن المتحجرة Kimberella [الكمبرية تكريمًا لـ John Kimber معلم وجامع فقد حياته أثناء رحلة استكشافية في وسط أستراليا(الصورة ٥– ٣) ربما كانت دودة مفلطحة أو ربما عَجَلانيّة عُرفية كانت تتطور باتجاه أن تصير حيوانًا رخويًّا مبكرًا شبيهًا بالبُزاقة. بعض المتحجرات الإدياكارية استعصت على التفسير [التحديد والتعرف]، (مثل الصورتين ٥– ٤ و٥– ٥).

بعض الحيوانات الإدياكارية تغذت على العوالق الطافية، في حين كانت أخريات آكلاتٍ للطين. لا توجد أدلة على حيوانات ارتعت على الطحالب على قيعان البحار. (قد تكون قد وُجِدَتْ لكنها لم تُحفَظ [كعينات متحجرات]). كانت الكثير من الحيوانات الإدياكارية صغيرة، لكن البعض منها وصل إلى أحجام مدهشة بالنسبة لمثل تلك الحيوانات المبكرة. وبما أن الحيوانات الإدياكارية كانت لينة الأجساد وغير محميَّة كما يبدو، فربما لم تكن هناك مفترِساتٌ كبيرةٌ على قيعان البحار.

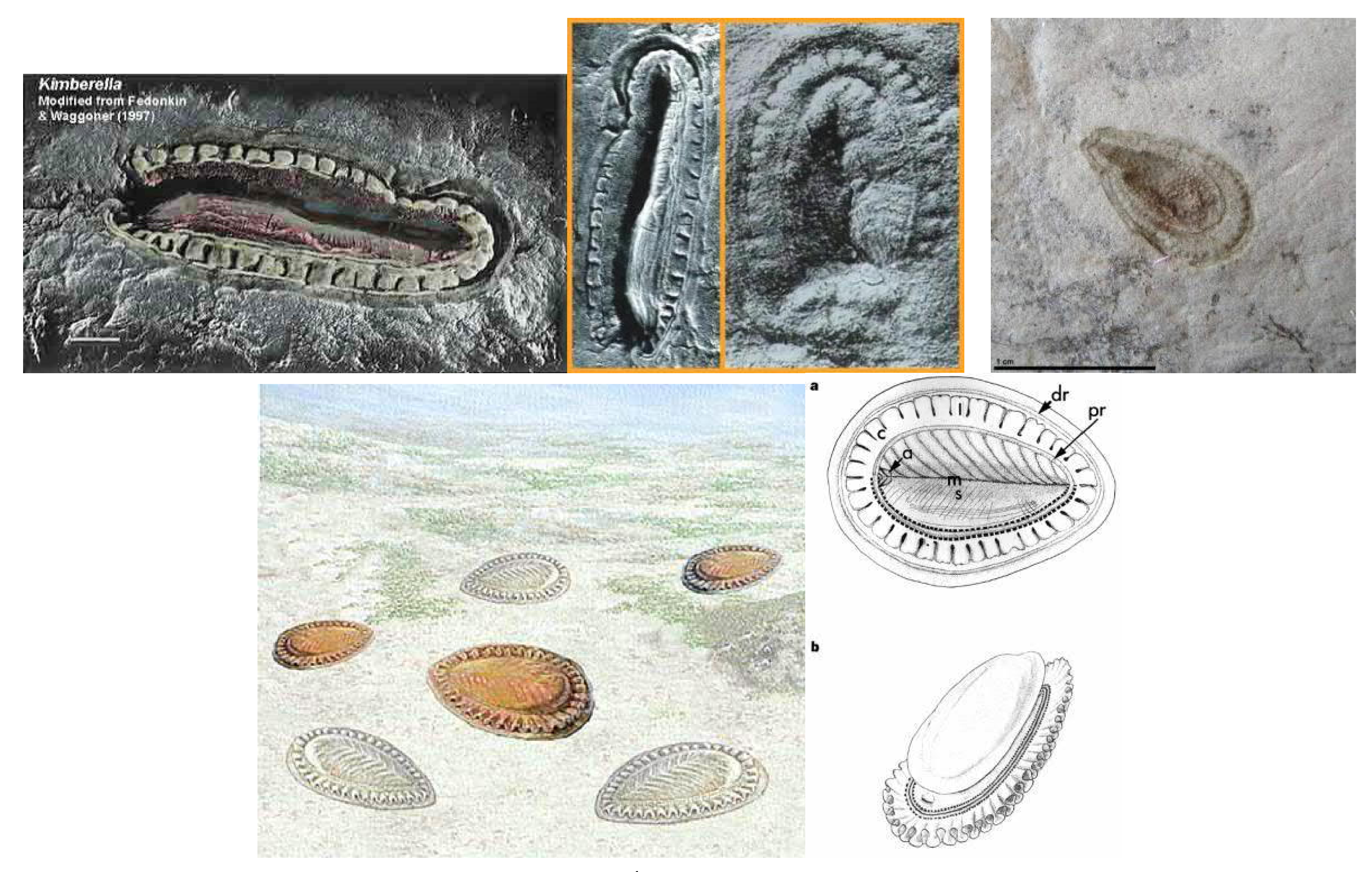




الصورة ٥- ١ Mawsonites [ماوسوني على اسم عالم الجيولُجي Douglas Mawson]، حيوان من العصر الإدياكاري عثر على متحجرته في جنوب أستراليا. إنه يشبه في الشكل قنديل البحر المعاصر، مما يقترح لكنه لا يثبت أن هذا الحيوان كان حيوانًا من اللواسع أيضًا. الصورة بتكرم من Mary Wade من متحف كوينزلاند Queensland بأستراليا.



الصورة ٥- ٢ حيوان الـenidarran هذا قبع جانحًا قديمًا على شاطئ كاليفورنيا، على غرار ما يحدث لبعض قناديل البحر المعاصرة.



الصورة ٥- ٣ متحجرة Kimberella [الكمبرية]، ربما كانت لدودة مفلطحة، أو ربما لحيوان رخوي بدائي.. إعادة بناء [رسم مُتصَوَّر] للمتحجرة.



الصورة ٥- ٤ متحجرة Dickinsonia [الدكسونية، سميت تكريمًا لبستاني وعالم نبات بارز يدعى James Dickson]، أحيانًا تُفَسَّر [تُعرَّف] على أنها كانت لدودة كبيرة مسطحة حَلَقيّة [مقسَّمة الجسد إلى أقسام أو فصوص]، وفسرها البعض على أنها لحيوان لاسع. دَوِّرْ الصفحة إلى أوضاع [زوايا] مختلفة لتحاول تقرير أيهما أرجح.



الصورة ٥- ٥ المتحجرة الإدياكارية الغامضة Tribrachidium [ثلاثي التشعب أو الأذرع].

تطور الهياكل العظمية

كان أحد أهم الأحداث في تاريخ [تطور أشكال] الحياةِ هو تطور الأجزاء الصلبة المحتوية على المعادن في الحيوانات. بدأ سجل المتحجرات فجأةً حقًّا في الاحتواء على هياكل صلبة؛ ألا وهي الأصداف والأجزاء الأخرى المعدنية التي كوَّنَتْها الحيواناتُ حيويًّا كيميائيًّا. يمتلك البشرُ نوعًا واحدًا من الهياكل، وهو هيكل داخلي، حيث يكون الجزء المتعدن في الداخل والأنسجة الطرية تتموضع في الخارج. معظم الحيوانات لديها الترتيب المعاكس، بهيكل خارجي متعدن على الخارج والأنسجة الطرية بالداخل، كما في معظم الرخويات وفي المفصليات (الصورتان ٥- ٦ و ٥- ٧). إن الصدفة أو القشرة الخاصة بالجلد شوكيات هي فنيًّا داخلية لكنها في العادة تتموضع بالقرب جدًّا من سطح الجسم لدرجة أنها تكون خارجية في الواقع وبالنسبة لكل الأغراض العملية. الأجزاء الصلبة التي تضعها المرجانات خارجية، لكنها تكون تحت الجسم، بحيث تتموضع الأجزاء الطرية على أعلى الأجزاء الصلبة وتبدو نسبيًّا غير محميَّة بها. هياكل الإسفنجيات هي ببساطة شبكات من أشواك ضئيلة تُشَكِّل هيكلًا داخليًّا إلى حدٍّ بعيد. هناك تنوع مذهل لا يُصدَّق من أنواع ووظائف وأنساق وكيميائيات وتكوينات هياكل الحيوانات؛ إن التعدُّن الحيوي [البيولُجي] هو عِلْمٌ كامل في حدِّ ذاته.

مع تطور الأجزاء الصلبة، صار سجل المتحجرات أثرى [أغزر] بكثير، لأن الأجزاء الصلبة تقاوم العوامل المدمرة المتلفة التي تؤثر على ألأجزاء الطرية من الأجساد. تقريبًا حالما أدرك علماء الجيولُجي [طبقات الأرض وعلومها] أن المتحجرات تُمَيِّز وتُعيِّن حدودَ الفترات الزمنية في تاريخ كوكب الأرض، أدركوا أيضًا أن جودة سجل المتحجرات تعتمد على نوع وبنية وتركيبة الأجزاء الصلبة الخاصة بالكائنات المتعضية التي حُفِظَتْ كمتحجرات (راجع الفصل ٢). في الحقيقة، لمدة حوالي قرن اعتقد كثير من علماء الجيولُجي أنه ليس هناك سجل متحجرات قبل تطور الأجزاء الصلبة. يحدِّدُ تطورُ الأجزاءِ الصلبة بدايةَ حقبة [أو دهر] جديد في تاريخ كوكب الأرض، وهو حقبة أشكال الحياة الظاهرة Phanerozoic eon *[ذلك الجزءِ من الزمن الجيولجي الممثل بواسطة صخور يكون إثبات الحياة فيها وافرًا، كأن نقول من الكامبري حتى زمن متأخر أو حديث. ويشتمل على حقبة أو دهر الحياة القديمة أو الباليوزوي Paleozoic وحقبة الحياة الوسطى أو الميزوزوي Mesozoic وحقبة الحياة الحديثة أو السينوزوي Cenozoic]*. إنه عهد جديد يشمل دهرَ أشكال الحياة القديمة Paleozoic Era، وأقدم قُسَيْمٍ من دهر أشكال الحياة القديمة وهو العصر الكامبري. لقد كان يُنظَر في الأول إلى الزمن قبل الكامبري (حقبتي الدهر السحيق Archean ودهر أشكال الحياة البدائية أو طلائع الحياة Proterozoic) على أنه زمنٌ خالٍ من الحياة، ثم عُرِفَ على أنه زمن لحياة كائنات لينة الأجساد، بكتيريا بالدرجة الأولى. وحتى في العصر الحالي، يُحدَّدُ مُستَهَلُّ العصر الكامبري بالزمن الذي تظهر فيه المتحجرات الكبيرة الجديدة في سجل المتحجرات.

لماذا تطورت الأجزاء الصلبة من الأساس، ولماذا تطورت في الوقت الذي تطورت فيه؟ ما التغيير أو الاختلاف الذي تُسبِّبُه الأجزاء الصلبة لبيولُجيَّة حيوانٍ؟ (هل يعني ضمنيًّا تطورُ الأجزاء الصلبة أن مجموعاتٍ جديدة تمامًا من الحيوانات قد نشأت؟).

الديدان لينة الأجساد. والإسفنجيات إسفنجيات، سواء امتلكت أشواكًا ضئيلة متعدِّنة تُكَوِّن هيكلًا داخليًّا، أو بروتينًا طريًّا شبيهًا بالذي في إسفنج الاستحمام. لكن الكثير من مجموعات الميتازويات [البَعديَّات] لديهن هياكل تكُون جزءًا تكامليًّا لتخطيطات أجسادهن بحيث أنها لا يمكن أن تحيا بالمعنى الصحيح الدقيق للكلمة إلا بامتلاكها للأجزاء الصلبة. ورغم أن هناك رخوياتٍ بدون أصدافٍ (كمثالٍ، البُزاقات والحبَّارات)، فإنه يبدو مستحيلًا أنْ يَكون الكائنُ

بطلينوسًا بدون صَدَفة. فالأصداف هامة للغاية لحيوانات البطلينوس لدرجة أنه لو تطور بطلينوسٌ ليصير عديم الصدفة، فإن بيولُجيَّتَه [طبيعته البيولجية] الأساسية ستكون متغيّرةً للغاية بحيث أننا كنا سنسميه باسمٍ آخرَ. المفصلي الذي بلا هيكلٍ هو على نحوٍ أساسيًّ دودة (ما لم تكن يرقةً [يسروعًا] لمفصليٍّ). هكذا فإن أي دودة طورت أجزاء صلبة تكون بطبيعتها وسماتها تطورت إلى مجموعة رئيسية أخرى ما؛ يعني شُعبة جديدة.

إن التسع أو العشر شُعبٍ التي ظهرت في العصر الكامبري المبكر قد طورت أجزاءً صلبة مختلفة جدًّا أحدها عن الآخر. فالإسفنجيات لديها هياكل داخلية مُكوَّنة من البروتين أو الكالسيت [كربونات الكالسيوم البلورية بالسِلِكا، ثاني أُكسيد السِلِكُن] أو إبر سِلِكا دقيقة. الرخويات ومعظم عضديّات الأقدام لديها صدفة خارجية مكونة من كربونات الكالسيوم، لكن الشعبتين تستعملان معادن مختلفة، وبنية بلورية مختلفة. وتستعمل بعض عضديات الأقدام فوسفات الكالسيوم لبناء أصدافهن. طورت المفصليات مادة الكايتين chitin، لكن المجموعات المختلفة للمفصليات تمزج الكايتين بفوسفات الكالسيوم أو كربونات الكالسيوم. ولشوكيات الجلد هيكل داخلي تحت الجِلد مباشرةً، مُكَوَّن من صفيحات صغيرة منفصلة من كربونات الكالسيوم، كل واحدة منها هي بلورة كالسيت مُفرَدة.

بالنظر إلى تنوع المعادن المتضمَّنة، فإنه واضح أنه لم يكن هناك تغيرٌ كيميائي بسيط ما في المحيطات (كمثالٍ، زيادة في الفوسفات) هو الذي حثَّ اختراعَ الهياكل. رغم ذلك فإن الحدث التطوري كان عالميًّا شاملًا، لذلك فقد حثه على الأرجح عاملٌ حيويٌّ [بيولُجيٌّ] أو إيكُولُجيٌّ [متعلق بالوظائف البيئية، طرق الاعتياش، والعلاقات بين الكائنات الحية، وبينهن وبين البيئة] شامل عالمي. نحتاج معرفة سبب تطوير هذه الكائنات المختلفة أنواعًا مختلفةً من الهياكل، ولماذا فعلوا ذلك بسرعة للغاية لدرجة أن ذلك الحدَثَ كثيرًا ما يوصَف بـ"الانفجار الكامبري [البيولُجي]". إننا نفهم نشوء الثلاث مجموعات الكبيرة من الميتازويات، لكن الشُعَبَ نفسَها تفرعت سريعًا للغاية بالنسبة لنا بحيث لا نستطيع إعادة بناء كيفية تطورها (حتى الآن بعد). استُمِعَ في مؤتمرٍ في ١٩٩٨م للعديد من الاقتراحات العديدة المختلفة جذريًّا عن سبب تشعب الميتازويات، وأعلن منظمو المؤتمر لاحقًا أن عشر سنوات إضافية من البحث العلمي ستساعدنا على البدء في حل المسألة!

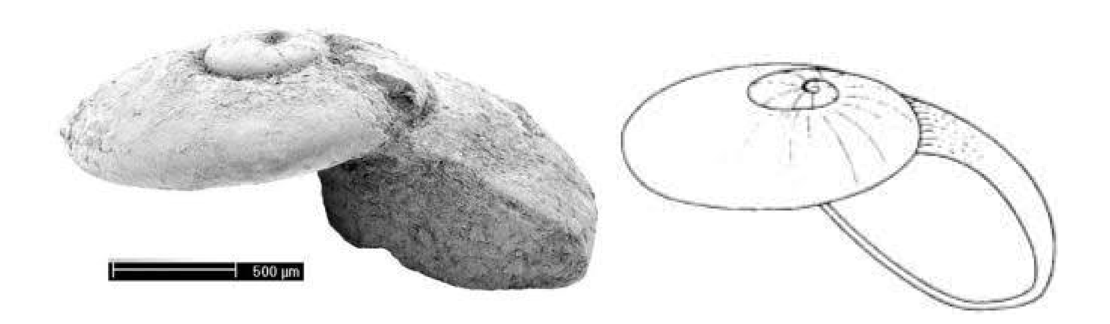
رغم ذلك، فربما لم يكن الانفجار الكامبري دراميًّا [مفاجئًا وكبيرًا] للغاية. ربما اكتسبت فجأةً الأسلاف اللينة الأجساد للحيوانات الكامبرية _والتي كانت تطورت جيدًا من قبلُ إلى مساراتٍ مختلفة_ أجزاءً صلبةً وأحجامًا كبيرة، وبدت كأنها انفجرت تطوريًّا في سجل المتحجرات عندما بدأت في ترك متحجراتٍ على قيعان البحار. في فعلها لذلك، فقد طورت السماتِ التي تمكننا من التعرف عليها تشريحيًّا وإيكولُجيًّا [من جهة طريقة اعتياشها وسلوكياتها] على أنها شُعَبُ الميتازويات التي لا تزال متحدراتها تحيا. في هذا السيناريو، ما تطور في الانفجار الكامبري كان رخويات في دورها الإيكولُجي، ومفصليات في دورها الإيكولُجي، وهلم جرًّا. ربما كان لأسلافهم اختلافات هامة في الـDNA الخاص بجيناتٍ هامة، لكنها كانت كلها متشابهةً إيكولُجيًّا. هذا يجعل الانفجار الكامبري حدثًا إيكولُجيًّا عوضًا عن كونه حدثًا فجائيًّا في تفريعات شجرة التطور. رغم ذلك، فإنه يمكن أن الكثير من التطور الذي كَوَّنَ شعب الميتازويات المتعددة حدث فقط قبيل وفي العصر الكامبري، مما يجعل الانفجارَ الكامبري جينيًّا وكذلك إيكولُجيًّا، ودراميًّا [كبيرًا مفاجئًا] بالفعل. لعل الحقيقة على الأرجح تقع في موضع ما في الوسط (كما كثيرًا ما تكون).

بالنسبة لبعض الأغراض، فإنه لا يفرِق ما إذا كان الانفجار الكامبري يمثل على نحوٍ حقيقي تطور شُعَب جديدة، أم يمثل تطور صفات جديدة داخل شعب موجودة من قَبْلُ لكنها كانت طرية الأجساد. إنه لواضحٌ أن تطور التشريح [البنية التركيبية] التي تعكس تكيفًا جديدًا وإيكولُجية حديثة حدَثَ سريعًا جدًّا حقًّا عند بداية العصر الكامبري، وأن ذلك يحتاج تفسيرًا. سوف نراجع الأدلةَ، ثم نبحث عن تفسيرٍ للانفجار الكامبري.

بداية العصر الكامبري، متحجرات صغيرة كثير منها ذوات أصداف

تقنيًّا، تقع صخور مستهل العصر الكامبري _عند حوالي ٥٤٣ مليون سنة ماضية_ عند موضع بعيد في واجهةِ جُرْفٍ [حائط أو منحدر جبلي] في منطقة نيوفَوِنْدلانْد Newfoundland بكندا، في صخور ليس بها متحجرات سوى القليل من آثار الديدان. لكنْ في سَيْبيريا، تحتوي الصخور من نفس العصر تقريبًا على مجموعة كاملة من المتحجرات الصغيرة كثيرٌ منها ذوات أصداف، مع إسفنجيّات من أنواع مختلفة عديدة. معظم الأصداف الصغيرة مخروطية وأنبوبية الأشكال والتي لا نفهمها بعد على نحوٍ ملائم ودقيق، لكن البعض منهن على الأقل كُنَّ حيواناتٍ معقدة، بما في ذلك أول الرخويَّات (الصورة ٥-

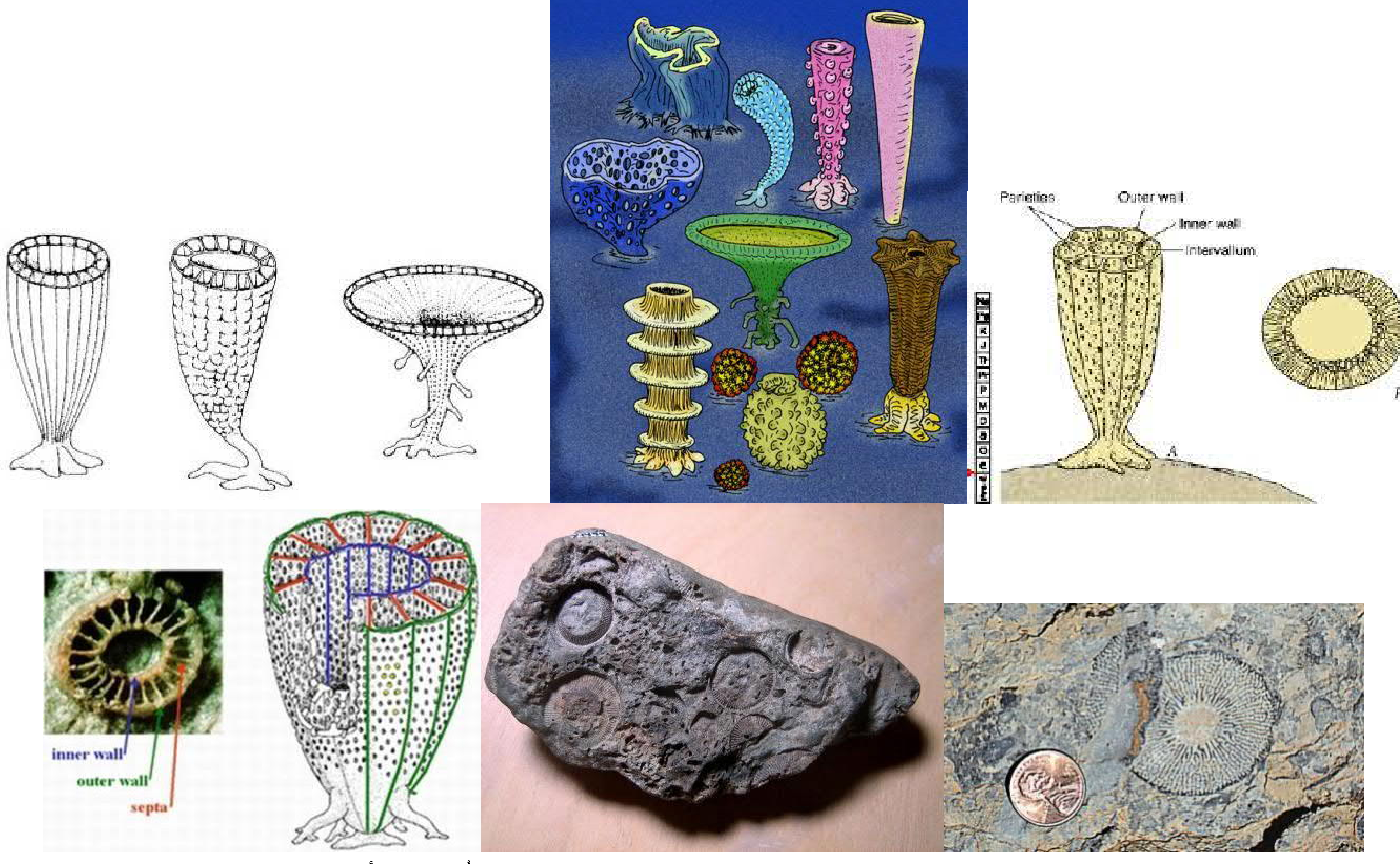
٧). ومبكرًا صارت الإسفنجيات العتيقة من نوع القدحيات البدائية أو الكأسيات العتيقة Archaeocyathids [كائنات بحرية تنتمي لشعبة الإسفنجيات العتيقة وتتميز بهيكل قمعي أو كأسي مكون من كربونات الكالسيوم] تشكل رقع شِعابٍ [أو حيود] بحرية.



الصورة ٥- ٧ حيوان صغير من العصر الكامبري، Aldanella، والذي ربما كان رخويًّا، (رغم أن بعض العلماء يعارضون). لو أنه كان رخويًّا، فإنه سيعتبر أقدم حلزون معروف. إن قُطر الصدفة 1, 5 مليمتر فقط.

لقد أصبحت نفس المجموعة من المتحجرات ذوات الأصداف معروفة الآن على مستوى العالم [في أماكن أخرى من العالم]، وفي العشرين مليون سنة التي تلت ذلك العصر ثُوِّرَت تمامًا [تطورت للغاية] الحياة الحيوانية الخاصة بالعالَم. شهدت المرحلة التالية من العصر الكامبري ظهور كائنات حية أكثر وفرةً وتعقيدًا.

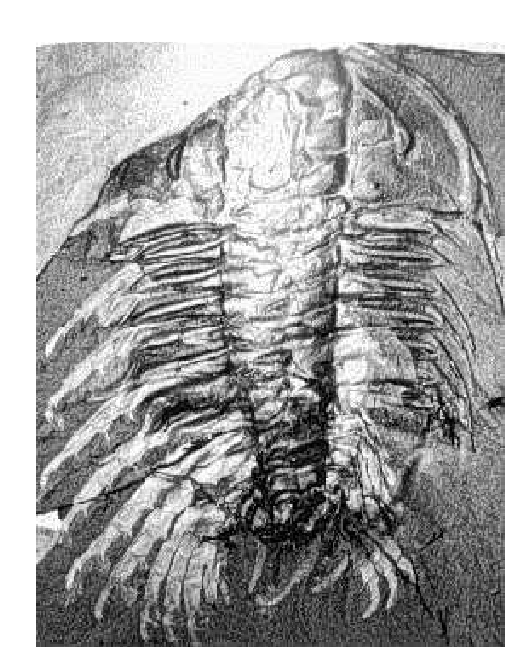
لمدة حوالي ٢٠ مليون سنة بعدئذٍ، لم تكن هناك حيوانات أكبر حجمًا من بضع مليمترات طولًا ما عدا إسفنجيات القدحيات العتيقة. ثم نرى على مستوىً عالميٍ في خلال القليل من ملايين السنوات بعد ٥٢٠ مليون سنة ماضية ظهورَ تنوعٍ أكبرَ حجمًا بكثيرٍ من أشكال الحياة البحرية. سادت ضمن تلك الحيواناتِ ثلاثياتُ الفصوصِ [التريوبوليت trilobites، فصيلة منقرضة]، وعضديات الأقدام، وشوكيات الجلد.



الصورة ٥- ٨ القدحيات العتيقة Archaeocyathids هي متحجرات من العصر الكامبري فُسِّرَت على أنها إسفنجيات مبكرة.

حيوانات أكبر حجمًا من العصر الكامبري

ثلاثيات الفصوص [التريوبوليت Trilobites] هي مفصليات، وقد كُنَّ كائناتٍ معقدة ذوات درع سميك مزوَّد بمفاصل يغطيهن من الرأس إلى الذيل (الصورتان ٥– ٦، و٥– ٩). كن يمتلكن قرون استشعار وعيونًا كبيرة، وكانوا يتحركون على قيعان البحار مستعملين أرجلًا طويلة ذوات مفاصل [متمفصلة]، وكن يشبهن القشريات وسراطين حدوة الحصان في البنية إلى حدٍّ ما. لم يمتلكن أجزاء الفم المعقدة الخاصة بالقشريَّات الحية، بالتالي فلعل نظامهم الغذائي كان مقتصِرًا على الرواسب أو الفرائس الصغيرة جدًّا أو الطرية. لقد كن يحفرن بنشاط، تاركاتٍ آثارًا لنشاطهن في الرواسب، وهن حتى الآن أكثر المتحجرات وفرةً في صخور العصر الكامبري. لقد زيد عدد المتحجرات التي خلَّفنها وراءهن بسبب حقيقة أنهن كن يبدِّلْن دروعَهن أثناء نموهن، مثل القشريات الحية المعاصرة. بالتالي، فإن ثلاثيَّ الفصوصِ البالغَ كان يمكن أن يساهم بعشرين درعًا أو أكثر في سجل المتحجرات قبل موته في آخر الأمر. وحتى مع التسليم بهذا التحيز في سجل المتحجرات، فإنه واضحٌ أن قيعان البحار في العصر الكامبري قد هيمنت عليها ثلاثيات الفصوص. تُعرَف مفصلياتٌ كبيرة أخرى من صخور العصر الكامبري المبكر، رغم أنهن أقل شيوعًا بكثيرٍ.

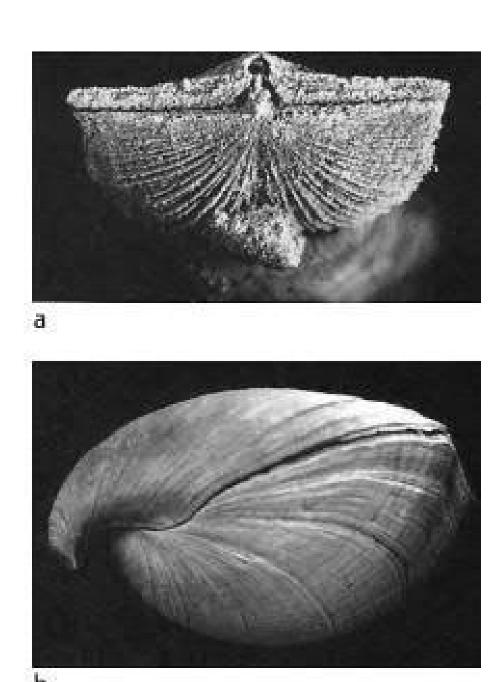




ثلاثي الفصوص Olenoides من صخور العصر الكامبري الوسيط، من منطقة طَفْل بورجيس Burgess shale في كولمبيا البريطانية، بكندا. هذه العينة محفوظة مع آثار لأرجل المشي الخاصة بها والتي لا تزال مرئية تحت الغلاف [الدرع] السميك الصلب الذي يشكِّل متحجرة ثلاثي الفصوص المعتادة.

إن عضديات الأرجل لها متحجرات وفيرة نسبيًّا، وهي كائنات حية لها صدفتان تحميان جسدًا صغيرًا وفجوة كبيرة مليئة بالماء حيث كان الطعام يُرشَّح من ماء البحر المضخوخ إلى داخل الصدفة وخارجها (الصورة ٥– ١٠). عاشت عضديات الأقدام [المسرجانيات] الكامبرية على الرواسب السطحية أو حفرت جحورًا تحتها بالضبط.

هذه الحيوانات كبيرة، وتَسهُل نسبتها إلى الشُعَبِ الحيّة. ولأول مرة، كانت ستبدو قيعان البحار مألوفة على نحوٍ معقول لعالم الإيكولُجي [طرق اعتياش الكائنات الحية وعلاقاتها مع بعضها وبالبيئة] البحري. أكلت ثلاثيات الفصوص على الأرجح الطين، وجمعت عضديات الأقدام الطعام من ماء البحر. إلا أنه تبقى بعض الألغاز الإيكولُجية. فليس هناك مفترِساتٌ كبيرة واضحة بين تلك المتحجرات الكامبرية الأبكر ذوات الهياكل، ولا مرتعِيات واضحة ما لم تكن ثلاثيات الفصوص قد أكلن الطحالبَ، ولا سابحاتٍ، ما عدا العوالق الطافية.



الصورتان ٥– ١٠ المسرجانيات أو عضديات الأقدام. (أ) عضدي القدم من العصر الكامبري. (ب) أحد أشهر أشكال الصدفة المسرجانية [شبيهة بشكل قنديل الإضاءة] والتي توجد لاحقًا أيضًا في تاريخ تطور عضديات الأقدام.

حيوانات منطقة طَفْلْ [الطين الصفحي لمنطقة] بورجيس

لقد ناقشتُ الانفجار الكامبري حتى الآن كما لو كان ذا علاقةٍ بالكامل بتطور الهياكل. وبينما هذا صحيح على نحو أساسي من جهة وفرة المتحجرات، فقد كان هناك أيضًا تطور درامي [كبير مفاجئ] في نفس الزمن ضمن مجموعات حيوانات ذوات هيكل ضئيل أو بلا هيكل. تزداد وفرة متحجرات الآثار _الآثار وآثار الزحف والحفر والجحور_ عند بداية العصر الكامبري، وظهرت حيوانات طرية الأجساد ذوات بعض التخطيطات الجسدية المعقدة على نحو مدهش.

تلك الحيوانات الطرية الأجساد محفوظة بوفرة في صخور العصر الكامبري المبكر في جنوبيّ الصين (أشكال الحياة الحيوانية الخاصة بمنطقة Chengjiang شنجيانج)، وفي صخور العصر الكامبري الوسيط في الجبال الكندية Canadian Rockies (في طَفْلِ بورجيس). تُعرَف متحجرات مشابهة الآن من صخور العصر الكامبري في أماكن أخرى عديدة من العالَم. سوف أدعوها جميعًا بأشكال الحياة الحيوانية القديمة الخاصة بطَفْلِ بورجيس.

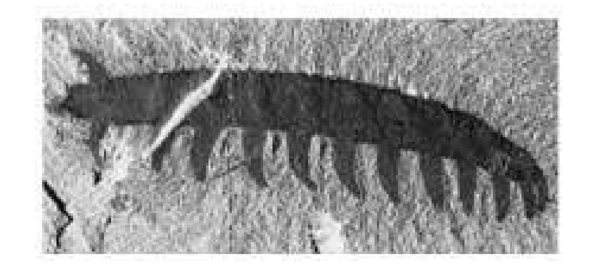
إن أكثر من نصف حيوانات بورجيس كانت حافرة للجحور أو عاشت حرة الحركة على قيعان البحر، ومعظم تلك كُنَّ آكلاتٍ للرواسب. هيمنت المفصليات (مثل Marrella، الصورة ٥– ١١) والديدان على الحياة الحيوانية لطفل بورجيس. حوالي ٣٠% فقط من الأنواع كانت مثبَّتة إلى قاع البحر أو عاشت حيواتٍ مستقرةً عليه؛ وقد كانت تلك على الأرجح متغذيات بترشيح الطعام من الماء، وكانت على نحو رئيسي إسفنجياتٍ وديدانًا. بالتالي، فإن هيمنة المفصليات الساكنة القاع المتغذية على الرواسب على معظم مجموعات المتحجرات الكامبرية ليس تحيزًا أو انحرافًا لصالح حفظ الأجزاء الصلبة، فإنه توجد مستعمَرات طريةُ الأجسادِ أيضًا. إن ثلاثيات الفصوص Trilobites ممثلون صحيحون [يمثلون غالبية] الحيوانات الكامبرية والإيكوُجيَّة الكامبرية.





الصورة ٥– ١١ Marrella، أحد أكثر أنواع المتحجرات شيوعًا في طفل بورجيس، هو مفصلي غريب المظهر جدًا. لقد حُفِظَت الأجزاء الطرية؛ فهناك طبعات مرئية لقرني الاستشعار الطويلة، ويمكن رؤية الأرجل تحت الدرع المفتوح بطريقة غريبة، وقد انضغطت أمعاؤها من جسدها للخارج وحُفِظَت كبقعة سوداء على سطح الصخر.

إن الأشياء المبهجة الحقيقية لأنواع الحيوانات القديمة الخاصة ببورجيس [أو بصخور العصر الكامبري] هي الحيوانات الغير معتادة، والتي قدَّمت المرحَ وصداع الرأس لعلماء المتحجرات والأحياء القديمة. إن Aysheaia [اسمها نسبة لقمة جبل Ayesha في كولومبيا البريطانية بكندا حيث اكتُشِفَتْ] متحجرة لحيوان ذي أرجلٍ فصية الشكل lobopod [فصيات الأقدام بالإنجليزية Lobopodia هي مجموعة من الحيوانات غير المفهومة، يقع معظمها في مجموعة فرعية من مفصليات الأرجل. يعود مداها الأحفوري إلى العصر الكمبري المبكر. فصيات الأقدام هي عقلات تملك عادة سيقان ذات مخالب معقوفة على آخرها] وهي تبدو مثل يرقة، مع أرجل ناعمة سميكة (الصورة ٥– ١٢). إن لديها لواحق صغيرة قصيرة سميكة قرب رأسها ربما كانت غددًا تفرز مادةً لزجة للإمساك بالفرائس. أما Hallucigenia [من hallucinatio باللاتينية أيْ المُحيِّرة للعقل]، فقد سُمِّيَتْ كذلك بسبب مظهرها العجيب، فهي ذات أرجل فصية الشكل وأشواك أو نتوآت.



الصورة ٥– ١٢ متحجرة لحيوان ذي أرجلٍ على شكل فصوص

وكان هناك مفترِسات ضمن أنواع الحيوانات القديمة لبورجيس. فالديدان القُضَيبية [البريابوليدية] [ذات خراطيم التثبيت للتحرك] تحيا في العصر الحالي في الجحور الضحلة وتصطاد الفرائس بإقحام خراطيم معقوفة فيها بينما هي تزحف جوارها.

إن الأنومالوكاريديديات Anomalocarids هن أكثر المفترِسات الكامبرية إثارةً [يعني اسمها باللاتينية Anomalocaris الجمبري العجيب!]. إنها مجموعة منقرضة من الحيوانات ذات قرابة مع المفصليات، وتقترح قطع من متحجرات حيوانات بورجيس أنها كان يمكن أن تبلغ طول مترين! إن Opabinia [الأُوبابينيّة، نسبةً لممر Opabin قرب بحيرة Lake O'Hara] كانت متطورة بدرجة كبيرة، طويلة ورفيعة، وذات زعنفة ذيلية رأسية، لذلك فهي على الأرجح سبحت هنا وهناك. وكان لها خمس عيون ومخلب إمساك كبير على مقدمة رأسها (الصورة ٥- ١٣).

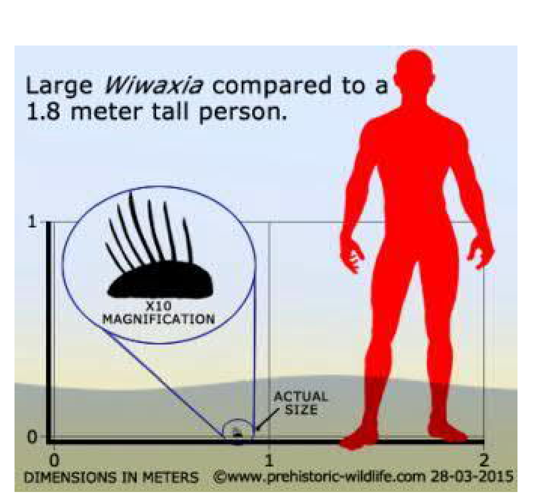


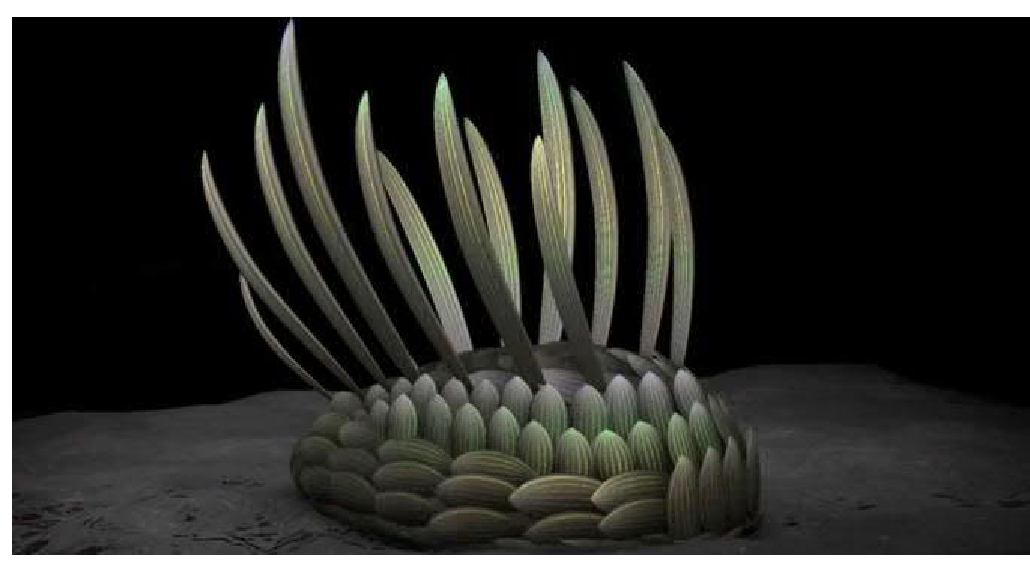
الصورة ٥- ١٣ Opabinia كان لها خمس عيون ومخلب إمساك كبير على مقدمة رأسها

إن Wiwaxia [الويوَكسية منسوب لمكان اسمه ويوَكس Wiwax] (في الصورة ٥- ١٤) هو كائن مفلطح زحف على قاع البحر وهو مغطى بقشور ضئيلة رُصِّعَتْ بأشواكٍ طويلة قوية. أما Halkieriids المعروفة أكثر من متحجرات الحياة الحيوانية الكامبرية لجرينلاند، فبدت كديدان مسطحة، ذات حوالي ألفي شوكة تُشَكِّل غلافًا حاميًا مثبَّتًا كجزء لا ينفصل عن السطح الخلفي/ الظهري. إلا أن صَدَفتين متميزتين شبه دائريتين شبيهتين بالخاصة بالرخويات كانت مثبتة على نحوٍ لا يتجزأ عن السطح العُلوي للجسم بالقرب من كل طرف. ربما كانت هذه الكائنات مشابهة لـ Wiwaxia؛ لو كان الأمر كذلك، فإنها أيضًا ديدان ذوات دروع.

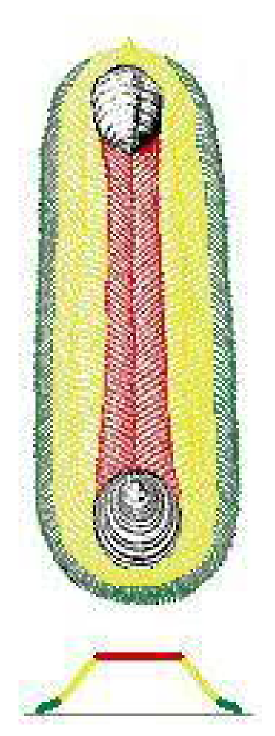








الصورة ٥- ١٤ زحف Wiwaxia كما يبدو على قاع البحر (مثل رخوي أو دودة ربما)، لكنه كان مغطى بصفوف من صفيحات الأشواك المتداخلة.



Top view
Front / back view
= Palmate sclerites – dorsal
= Cultrate sclerites – lateral
= Siculate sclerites
– ventro-lateral





الهالكيريات Halkieriids وإعادة تصور وبناء لها

تتضمن حيوانات بورجيس أيضًا كائناتٍ شبيهة بالديدان تُعُرِّف عليها على أنها حبْليّات وفُقّاريّات مبكرة؛ وبعبارة أخرى: الأسلاف البعيدون لنا ولكل الفقاريات الأخرى (انظر الفصل السابع).

في مجملها، تعطينا متحجراتُ أنواع الحياة القديمة للعصر الكامبري فكرة جيدة عن أنواع الكائنات طرية الأجساد المثيرة المنقرضة التي ربما عاشت دائمًا بجوار ثلاثيات الفصوص [التريوبوليت trilobites] لكنها نادرًا ما حُفِظَتْ على الإطلاق.

تفسير الانفجار الكامبري الحيوي

يظل الانفجار الكامبري لغزًا. إن موجات الجِدَّة التطورية التي ظهرت في البحار أثناء العصر الكامبري المبكر لها نظائر قليلة في تاريخ الحياة. ظهرت كثير من مجموعات المتحجرات فجأةً تمامًا بوفرة، بفضل تطور الهياكل، أحيانًا بحجم جسد كبير نسبيًا. إن هذا لم يكن حدثًا عاديًّا ما في تاريخ الحياة.

الهياكل

يدعم الهيكلُ الأنسجةَ الطريّةَ، من الداخل أو من الخارج، وبوضوحٍ يُمكِّن الحيوانَ من النموِ أكبرَ. لذلك، استطاعت الإسفنجيات النمو أكبر وأعلى بعدما طوَّرَت بنيواتٍ [تراكيبَ] داعمةً من البروتين أو المعادن، واستطاعت الوصول أبعدَ في المياه للاستفادة من تيارات الماء وجمع الطعام. يحمي الحجمُ الكبير كذلك الحيواناتِ من المفترِسات الكبيرة والصغيرة. إن احتماليةَ التهامِ حيوانٍ كبيرٍ بالكامل أقلُّ، وفي حيوانات كالإسفنج الذي له تنظيم قليل يمكن أن يُصلَح التلف والتضرر آخر الأمر لو نجا حتى جزءٌ من الحيوان من الهجمة. حالما تطورت الهياكل _حتى لو كان ذلك حدث لأسباب أخرى_ ساعدت الحيواناتِ على البقاء حية بسبب فائدتها وأهميتها الدفاعية.
امتلكت شوكياتُ الجلدِ المبكرة هياكلَ صفائحية خفيفة تحت أسطح أجسامها تمامًا، والتفسير الأكثر معقوليةً أن وظيفتها الأولى هي دعم [الجسد]، بالإضافة إلى الدفاع أو يتلوه.

بالنسبة لحيوانات أخرى، فإن الهياكل توفر صندوقًا يمنح الأعضاءَ بيئةً متحكَّمًا بها للعمل فيها. صارت المرشِّحاتُ أقلَّ تعرضًا لتيارات الماء، لذلك لم تعد تنسد بسهولة للغاية بالطمي والطين. منح الهيكلُ الشبيهُ بالصندوق أيضًا أفضليةً ضد الافتراس. ربما طورت الرخويات وعضديات الأقدام الهياكلَ لهذه الأسباب.

في حيوانات أخرى أيضًا، قامت وتقوم الأجزاء الصلبة بوظائف أكثر تخصصًا. لقد رأينا من قبل أن الديدان تنزع إلى الحفر في الرواسب متجهةً برأسها أولًا. لكن بعد اختراق الرواسب فإنها تتلوى خلاله. إن دودة طورت رأسًا مُصَلَّبًا يمكن أن تستعمل تقنيةً مختلفة وربما أفضل، جارفةً [رافشةً] الرواسبَ جانبًا مثلَ البلدوزر [الجرّافة الآلية]. اقترحَ Richard Fortey عليَّ أن ترس الرأس الكبير الخاص بثلاثيات الفصوص trilobites قد طُوِّرَتْ واستُعمِلَتْ بهذه الطريقة.

لكن المفصليات _وخاصةً ثلاثيات الفصوص_ مُدرَّعة على أسطحها الظهرية بالكامل، وليس فقط في منطقة الرأس. على الأرجح يفيد درعهم في ربط العضلات القوية. العضلات تسحب لكنها لا تستطيع الدفعَ. تتحرك الديدان باستعمال أنظمة هيدروليكية [مدارة بالماء] داخلية، كما قد رأينا. أما المشي فيتطلب قيام الأطراف بالدفع على الرواسب، وهذا سيكون غير مُجدٍ جدًّا لو كان الطرف الآخر للرجل غير مُثبَّت. طورت المفصليات هياكل ظهرية قوية كبيرة تُثَبِّتُ بإحكامٍ في مقابلها أرجلها ذات المفاصل، ما مكَّنها من التحرك بفاعلية وكفاءة أكثر مما تفعل الديدان.

يبدو أن الهياكل قد تطورت للعديد من الأسباب المختلفة العديدة، وبكيميائيَّات مختلفة عديدة، في حيوانات مختلفة كثيرة، لكن لماذا تطورت في زمن جيولُجي قصير جدًّا وفي موجتين مفاجئتين؟ إن العامل المشترَك الوحيد هو الاجتياح [الغزو، الاستعمار] الدرامي لطرق جديدة للحياة على قيعان البحار الكامبرية والتي كانت مستحيلة بدون دعم أو حماية الأعضاء الداخلية أو تثبيت العضلات.

رغم كل النقاش عن الهياكل، فإن أشكال الحياة الحيوانية لصخور العصر الكامبري تُظهِر أن تطورً دراميًّا [مفاجئًا وكبيرًا] حدث أيضًا في حيواناتٍ لم تمتلك هياكل قوية. رغم ذلك، فالكثير من تلك الحيوانات امتلك أغلفة خارجية قاسية قوية، لكنها قليلة التعدن؛ إن مفصليات صخور العصر الكامبري أمثلة جيدة على نحوٍ خاص.
العامل المشترك في كل المجموعات الناجحة لحيوانات العصر الكامبري هو حجم الجسد الأكبر. هذا يقترح أن العالَم بطريقةٍ ما كان قد صار آنذاك ملائمًا للحيوانات الكبيرة، وذلك بدوره يُنْبِئُنا أن الحدَثَ الكامبريَّ أدت إليه عواملُ إيكولُجيّة [متعلقة بطُرُقِ الحياة] شاملة على مستوى العالَم. إننا لا نعلم بعدُ ماذا كانت. ربما كانت ذات صلة بتغير في إمداد الغذاء في البحر، والذي بدوره يعتمد على ماء العمق الصاعد، والذي بدوره يعتمد على الأنماط المناخية

والجغرافية. وقد يكون لها علاقة بمستويات الأُكْسُجِنْ (فالحيوانات الكبيرة تحتاج أكسجنًا أكثر مما تحتاج الصغيرة)، لكن مستويات الأكسجن تعتمد على إنتاجية ودفن المواد العضوية. إننا لا نعلم حتى الآنَ بعدُ على نحوٍ كافٍ عن الجغرافيا والمناخ والكيميائية الجغرافية لقول أي شيء معقول عن تلك العوامل، لكنْ هاهنا تكمن الإجابةُ على الأرجح وحيث ينبغي أن تتركز الأبحاث المستقبلية.

أيًّا ما كان السبب العالَمي المُسَبِّب، فقد اقتُرِحَتْ بعضُ الآلياتِ المُحدَّدة لتفسير الانفجار الكامبري.

الافتراس

نظرية الافتراس لها جانبان. الأول هو برهان إيكولُجي عامّ. أزال عالِمِ الإيكولُجي Robert Paine روبِرْتْ بِينْ المفترِس الأعلى النهائي (نوع من نجم البحر) من المُستعمَرات الحيوية لشاطئٍ صخريٍّ على ساحل واشِنْتُنْ [واشنطن] ووجد أن التنوع الحيوي انخفض (انظر Stanley،١٩٧٣م). في غياب نجوم البحر، سيطرت حيوانات بلح البحر [نوع من الرخويات] على كل الأسطح الصخرية المتاحة وهزمت [كبحت] كل منافسيها. اقترح روبرت بين أنه قد كان هناك مبدأٌ إيكولُجيٌّ أساسيٌّ عاملٌ؛ وهو: تحافِظ المفترِسات الفعَّالة على التنوع البيولُجي في المُستعمَرة الأحيائية. إن صار نوعٌ فريسةٌ [مُفترَسٌ] مهيمِنًا وكثيرًا، فإن المفترِسات الأعلى تأكله كَرَّةً أخرى، محافِظةً على التنوع بإبقاء مساحة متاحة للأنواع الأخرى.

استعمل Steven Stanley عملَ Paine ليقترح أن نشوء وتطور الافتراس حثَّ تشعُّبَ العصر الكامبري (انظر Stanley،١٩٧٣م). قام Stanley سْتانْلي بقفزة فكرية ليقترح أن المفترِساتِ تستطيع أن تتسبب في تنوع إضافي في فرائسها. لقد جادل بأنه لو كانت المفترِسات ظهرت أولًا في العصر الكامبري المبكر، فقد تكون قد سببت الزيادةَ في التنوع في ذلك الزمن. ربما شجَّع [ظهورُ] المفترِسات على تطور الكثير من أنواع الحيوانات المكتسبة للهياكل.

أيَّدَ Geerat Vermeij فكرة Stanley، مقترِحًا كيفية إمكانية أن تتسبب المفترِساتُ بالفعل التنوعَ ضمن الفرائس (في أي زمن) (انظر Vermeij،١٩٨٩م). فاستجابةً لنشوء المفترِسات الجديدة، قد تُطَوِّرُ الكائناتُ الفرائسُ [المُفترَسة] كِبَرَ الحجم، أو أغطيةً صلبةً مصنوعة من أي مادة بيولُجية كيميائية متاحة، أو سمومًا قوية، أو تغيرات في أسلوب الحياة أو السلوك (مثلَ الحفْرِ أعمقَ)، أو أي توليفة من هؤلاء، كل ذلك لتصير أكثرَ مقاومةً للمفترِسات. وبينما تطور المفترِساتُ الجديدةُ بدورها طرقًا أكثرَ تعقيدًا لمهاجمة الفريسة، فإن الاستجابات والاستجابات المضادة (سباق التسلح التطوري) يُرجَّح أن تساهم في اندفاعٍ كبير هام للتغير التطوري.

هل تنسجم سمات متحجرات العصر الكامبري المبكر مع نظرية الافتراس؟ لقد ظهر الافتراس كطريقة للحياة منذ زمن طويل قبل العصر الكامبري. فهناك أَوَلِيَّات protists مفترِسة، ولقد كانت الكثير من الميتازويات المجهرية [الميكروسكوبية] المبكرة مفترِساتٍ على الأرجح أيضًا. لكن ذلك كان على مقياس ضئيل. ربما تكون قواعد لعبة المفترس والفريسة قد تغيرت جذريًّا عندما تطورت الكائنات المتعددة الخلايا الكبيرة. الكثير من المتحجرات الكامبرية المبكرة امتلكت أجزاءً صلبة تبدو دفاعيةً. بعض الأصداف المخروطية الضئيلة والتي تُدعَى sclerites [وتعني الصُلْبيّات أو الشوكيّات] كان لها أشواك تحملها متجهةً إلى الخارج على الجوانب الظهرية والجانبية للحيوان، للدفاع ضد المفترسين. هناك حيوانات مدرَّعة ومُشَوَّكة من العصر الكامبري المبكر، وقد تعافت بعض ثلاثيات الفصوص من العصر الكامبري المبكر من جروح ربما تدل على تضرر بفعل مفترِسٍ. بالتالي فإن البنيوات الدفاعية المصنوعة من أجزاء صلبة يمكن أن تكون قد ساهمت في زيادة عدد المتحجرات في صخور العصر الكامبري المبكر.

تقترح الأدلة الحالية أن الافتراس لعب دورًا جزئيًّا هامًّا في التسبب في الحدث الكامبري. يصعب التأكد من ذلك، لأن المفترِسات الكبيرة الوحيدة التي اكتشفناها هي الـ anomalocarids، ونحن لا نملك أي دليل على ماهيّة ما أكلته؛ وعلى الأرجح أكلنَ أي شيء استطعن الإمساكَ به! رغم ذلك، فالافتراس لا يفسر توقيت الانفجار الكامبري؛ فلماذا لم يحدث أبكر بمئة مليون سنة أو لاحقة؟ كما أن الافتراس وحدَه لا يمكن أن يفسر كل تنوع الهياكل الذي نراه.

مستويات الأُكْسُجِنِ

ربما كان الانفجار الكامبري ذا علاقة بمستويات الأكسجن العالَمية. ففي أحد السيناريوهات، جُعِل تطور الأجساد الكبيرة والهياكل ممكنًا بفعل تركيزات الأكسجن العالية. تمنع الأصداف والأنسجة السميكة الانتشارَ الحرَّ للأكسُجِن إلى الجسد (انظر الفصل الرابع)، بالتالي فلم يكن يمكنهن التطور ما لم يكن هناك مستوى أكسجن عالٍ كافٍ لضخ الأكسجن إلى الجسد عبر المناطق القليلة المتبقية من النسيج المكشوف، عبر خياشيم مثلًا. ذلك لا يمكن أن يكون أيضًا كامل القصة، لأن الإسفنجيات واللواسع كان يمكنها أن تطور هياكلها (التي لا تمنع التنفس) في ظروف مستوى منخفض للأكسجن.
رغم ذلك، فلو كانت فكرة الأكسجن صحيحة، فسيمكنها تفسير معظم الانفجار الكامبري. فمن أين جاءت زيادة الأكسجن؟ وما الذي زاد كميةَ الكربونِ المدفونِ في قيعان البحار؟

أشار Graham Logan وزملاؤه إلى أن تطور الميتازويات [البَعْديَّات] المعقدة (متناظرات الجانبين) تضمن أيضًا نشوء المَعِدَة [الأحشاء]، وبالتالي نشوء البراز، عادةً في شكل كرات برازية مضغوطة. لو دُفِنَتْ كراتٌ برازية غنية بالكربون سريعًا، بعيدًا عن الأكسجن، فبالتالي ستزداد مستويات الأكسجن في البحار والهواء [الغلاف الجوي]. بالتالي، وفقًا لهذا الرأي، نشوء ميتازويات كبيرة على نحوٍ كافٍ لإنتاج كميات معقولة من كرات البراز كان مسؤولًا عن زيادةٍ في الأكسجن، والذي من ثم بدوره سمح بتطور ميتازويات أكثر بكثير وأكبر، وهلم جرًّا، حتى صار تطوير الهياكل مفيدًا وذا أفضلية لتلك الميتازويات. لو كانت نسختي من فرضية كوكب الأرض النصف مثلج صحيحة، فإن فردوس العوالق يكون قد تسبب في كم كبير من دفن الكربون بعيدًا عن سطح البحر. هذا يمكن أن يكون قد بدأ زيادة الأكسجن التي مكَّنَتْ من تطور ميتازوياتٍ أكبرَ فأكبرَ ثم استعمارها قيعان البحار. ثم أَنْتَجَتْ متناظراتُ الجانبينِ كرات برازية في أو على قيعان البحر، حيث كانت تُدفَن بسهولة وسريعًا. (تذكر أن الحفر في قيعان البحار، الذي قد ينبش ويطلق الكربون المدفون لكي يتأكسد، لم يحدث بأي مقياس حتى بدء العصر الكامبري).

رغم كل هذه التخمينات، فإنه ليس واضحًا أن الأكسجن أو الافتراس أو أيَّ عاملٍ مفردٍ آخر كان السبب في طبيعة ومدى وبخاصة في توقيت الانفجار الكامبري. يمكن أن يجادِل المرءُ (وقد جادل ناسٌ بالفعل) بأن العالَم مليء بكائنات معقدة، لذلك فلا بد أن التعقيد قد تطور في زمنٍ ما. متى [وقتَما] تطور، فقد كان محتمًا أنْ يُسبِّبَ "انفجارًا" أو "اندفاعًا" ظاهريًّا في سجل المتحجرات. إذن، ربما لم يكن هناك حاثٌّ أو مُطْلِقٌ مُعيَّنٌ للانفجار الكامبري. لقد تطورت أوائل الحيوانات الكبيرة في ذلك الزمن، وإنه ليس مدهشًا أنها انتشرت وتنوعت سريعًا إلى الكثير من تخطيطات الأجساد، مع تطوير مجموعات مختلفة لأجزاء صلبة ذوات كيميائيات وبنيوات مختلفة. تذكر أن الكائن المتطور حديثًا يتفاعل مع كل الكائنات الحية الجديدة الأخرى آنذاك في مستعمرته [بيئته]، بالتالي فإن الثورة الإيكولُجية كانت شديدة.

بعد الأحداث الدرامية في العصر الكامبري المبكر، تبدو الزيادة في أعداد وتنوع المتحجرات لاحقًا زمنيًّا معاكسة للمناخ. إن مجموعات المتحجرات الكامبرية ليست معقدة جدًّا إيكولُجيًّا [من جهة وظائف وطرق اعتياش الكائنات الحية وعلاقاتها ببعضها]؛ فهي تهيمن عليها ثلاثياتُ الفصوصِ trilobites، التي عاش معظمها على قيعان البحار وكانت متغذية على الرواسب. أما الكائنات الحية المرشِّحة للغذاء من الماء فكانت ثانويةً للغاية، ورغم أنه قد كانت هناك مفترِساتٌ كبيرةٌ، فإنها يمثلها الـanomalocarids فقط.

إن الانفجار الكامبري مشهديٌّ [مثيرٌ]، لكنه ليس فريدًا؛ ففي رأيي أن الانتواع المشهدي للزواحف الثنائية الحفر _خاصةً الزواحف الحاكمة_ في العصر الترياسي حالة مناظِرة (انظر الفصل ١١)، وكذلك كما في انتواع الثدييات في العصر الباليوسيني [أقدم فترة من دهر الحياة الحديثة] (انظر الفصل ١٧). فهذه التشعبات نشأت من أحداثٍ تطورية "عادية" تمامًا كما تنشأ "الانقراضات الجماعية الكبرى" من البقية (الفصل السادس). إن العصر الترياسي على كوكبنا الواقعي سكنته كائنات متعضية حقيقية، ويُرَجَّحُ أنْ تتنوع المعدلات التطورية زمنيًّا ومكانيًّا، ويُرَجَّحُ أنْ تتنوع الأحداثُ التطورية في الحجم والمدة والتكرار. ينبغي ألا نتوقع أن القواعد النموذجية التي قد نقترحها لكوكبٍ نموذجيٍّ مُتَصَوَّرٍ سيتبعها العالَمُ الطبيعيُّ؛ بدلًا من ذلك، علينا أن نكتشفَ من خلال العالَم الطبيعي ما كانت عليه [وتكونه] القواعد.

الفصل السادس

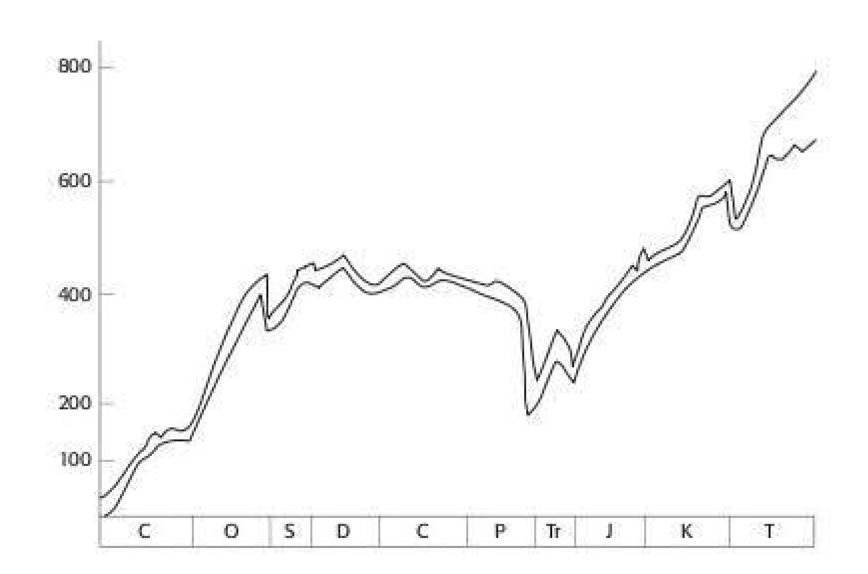
[أشكال] حياة متغيرة في عالم متغير

لقد تطورت الحياةُ على كوكبٍ مر بجيولُجية وجغرافية ومناخ متغير. لم تتطور الحياة في أنماط عشوائية، أيضًا لفهم سجل المتحجرات، نحتاج أيضًا أن ننظر إلى العلاقات بين العالمين الفيزيائي والبيولُجي اللذين تعيش عليهما الحياة.

أولًا، نحتاج أن نعرف ماهية ما كانته أنماط الحياة عبر الزمن. لقد صار سجل المتحجرات وفيرًا فقط منذ بدء العصر الكامبري، لذا فلدينا أفضل فرصة لفهم أنماط حقبة الحياة الظاهرة Phanerozoic eon: وتشمل حقبة أَوْ دهر الحياة القديمة أَوْ الباليوزوي Paleozoic وحقبة الحياة الوسطى أَوْ الميزوزوي Mesozoic وحقبة الحياة الحديثة أَوْ السينوزوي Cenozoic. علاوة على ذلك، فقد كان هناك أشكال حياة وفيرة في البحار طوال حقبة الحياة الظاهرة، لكنْ ليست وفيرة على اليابسة، ويُحتمَل أنْ تُكوَّن وتُحفَظ المتحجراتُ أكثرَ في الرواسب البحرية (راجع الفصل الثاني). بالتالي فإن مجمل سجل تاريخ أشكال الحياة يُفهَم أفضلَ فهمٍ بدراسةِ سجل الحياة البحرية في حقبة أشكال الحياة الظاهرة.

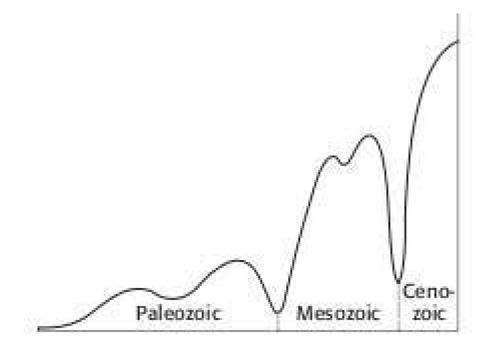
أنماط التنوع في السجل الأحفوري

أمضى Jack Sepkoski أكثرَ من عشرين عامًا يجمع ويصنف البيانات المنشورة عن سجل المتحجرات الخاص بكوكب الأرض خلال حقبة أشكال الحياة الظاهرة، مركِّزًا أكبر تركيزٍ على المتحجرات البحرية. لقد بدأ أولًا بإحصاء عدد أسر [فصائل] المتحجرات البحرية التي حددها علماء المتحجرات وأشكال الحياة القديمة بدءًا من العصر الإدياكاريّ (القِنْدِيانيّ) حتى الأزمنة الحديثة، ولاحقًا صنَّفَ الأجناسَ. تُظهِر تلك البياناتُ حول التنوع العالمي (البحري) نزعاتٍ واضحة وبسيطة على نحو معقول (الشكل ٦– ١). لقد وُجدَ القليل من فصائل الحيوانات البحرية في الأزمنة القِنْديانية، لكن شهدت بدايةُ العصر الكامبري زيادة درامية تبعه منحنى مرتفع حتى مستوى العصر الكامبري المتأخر. رَفَعَتْ زيادة جديدة درامية عند بداية العصر الأُرْدُوُفِيشي إلى مستوىً عالٍ ظل ثابتًا نسبيًّا طوال باقي دهر أشكال الحياة القديمة the Paleozoic. في العصر البرمي المتأخر كان هناك انخفاض درامي في التنوع البيولُجي مع حدوث انقراض كبير جدًّا يُميِّز ويُعيِّن حدود نهاية دهر أشكال الحياة القديمة. أما الزيادة الثابتة التي بدأت في العصر الترياسي فقد استمرت حتى العصر الحالي، مع انقلاب أو تراجع صغير وقصير المدة (انقراض) فقط عند نهاية العصر الطباشيري، والذي يميّز أيضًا نهاية حقبة أشكال الحياة الوسطى Mesozoic Era.



الرسم البياني ٦– ١ جمعُ وتصنيف Jack Sepkoski في عام ١٩٨٤ لتنوع فصائل المتعضيات البحرية عبر الزمن. يُظهِر المنحنى الأسفل المتعضيات ذوات الأجزاء الصلبة المحفوظة جيدًا كمتحجرات؛ أما المنحنى العلوي فيُظهِر كلَّ المتعضيات. هذا التشابه بين المنحنين يثبِت أن تحيز سجل المتحجرات ليس مهمًّا جدًّا، ولم يتغير هذا النمط الأساسي رغم مرور عشرين سنة مليئة بكمية من البيانات الجديدة. (بيانات من Sepkoski، ١٩٨١م– ١٩٨٤م)

كان هذا النمط العام معروفًا في عام ١٨٦٠م، عندما حدَّدَ John Phillips جُوُن فِلِبْس الحقب القديمة والوسطى والحديثة (الشكل البياني ٦– ٢). هذا النمط مألوف أيضًا لأي عالم متحجرات متخصص في اللافقاريات قضى وقتًا في البحث بتوسع عبر مجموعاتِ متحفٍ كبيرٍ. كانت مساهمة Sepkoski هي وضع النمط في بنود كمية، وعرض البيانات لكي يحللها أي أحد.



الشكل البياني ٦– ٢ نُشِر منحنى John Phillips جون فِلِبْسْ والذي يُظْهِرُ التنوعَ الحيويَّ عبر الزمن في عام ١٨٦٠م، قبل أن يصير سجل المتحجرات معروفًا على نحو جيد، لكن شكله العام يظل مقبولًا في العصر الحالي (قارن الشكل البياني ٦– ١).

يَسْهُل التفكير في مشاكل محتمَلة في أطروحة Sepkoski. كمثال، بعض نواحي العالم فقط هي التي نُقِّبَ فيها باجتهادٍ وعلى نحوٍ شاملٍ بحثًا عن المتحجرات؛ وبعض الأجزاء من السجل الجيولُجيِّ نُقِّبَ فيها بعنايةٍ أكثرَ من الأخريات؛ والصخور الأقدم قد دُمِّرَت على نحو تحيُّزيٍّ أو غُطِّيَت بفعل العمليات الطبيعية كالتعرية والترسيب. لم تسلِّطْ النقاشاتُ المعاصرة المُطوَّلة كثيرَ ضوءٍ على هذه التحيزات.

إني أعتقد أن النَزعات التي حدَّدَها حقيقيةٌ، حتى لو أن الأعداد المرفقة بها قد تتغير مع الأبحاث الجديدة. إن علماء المتحجرات وأشكال الحياة القديمة ينقِّبون العالَمَ بحثًا عن المتحجرات منذ مئتي سنةٍ. إن أفضل متحجرات لمستعمَرات من جهة أخذ عيناتها هي أشكال الحياة الحيوانية ذوات الأصداف والتي عاشت في الأرفف البحرية الضحلة[١]، ويُرجَّح أن يكون تقديرُنا لتنوعهن عبر الزمن عينة صحيحة سليمة لتنوع كل أشكال الحياة عبر الزمن. يَصْعُب أكثرَ تفويتُ المجموعاتِ الأكبرِ حجمًا من المجموعات الأصغر حجمًا، بالتالي فلقد اكتشفنا على الأرجح كل شُعَبِ الحيوانات البحرية ذوات الهياكل الصلبة التي عاشت في المياه الضحلة. ربما نكون قد وجدنا نسبةً قليلةً فقط من الأنواع في سجل المتحجرات، لكننا قد اكتشفنا على الأرجح الكثير من الفصائل (الأُسَر). على أي حال، إن يكن البحث عن المتحجرات عشوائيًّا تقريبًا (ولا يوجد سبب للشك في ذلك)، فإن سجل المتحجرات البحرية التي عاشت في المياه الضحلة كما نعرفِه [السجلَ] حاليًّا هو عينة مناسبة لسجل المتحجرات ككل. بالتالي نستطيع الآن أن نسأل ماذا أثَّر وغيَّر في الأنماط التي وثَّقَها Sepkoski. السؤال الذي يُسأَل أولًا: ما إذا كان قد أثَّرَتْ فيها الجغرافيا المتغيرة لكوكب الأرض، ولو كان الأمر كذلك، فما هي العلاقات السببية؟

التحرك العالَمي لطبقات القشرة الأرضية والتنوع العالمي

لقد صرنا نعلم منذ ثلاثين سنة أن قشرة كوكب الأرض مُتكوِّنة من صفائح صلبة ضخمة تتحرك بلا استقرار [تزول عن أماكنها] تحت تأثير الحِمل الحراري للباطن الساخن لكوكب الأرض[٢]. عندما تتحرك، فإن الصفائح تؤثر أحدها في الآخر على طول حوافِّها، مع نتائج تغيِّر جغرافيا سطح كوكب الأرض بطرق كبيرة. يمكن أن تنفصل صفيحتان لتشقا قارتين أو قارات بعيدًا عن بعضهن، ولتُكَوِّنَ محيطاتٍ جديدة، أو لتُوَسِّعَ محيطاتٍ موجودةٍ بتكوين قشرة جديدة في صدوع ضخمة في قيعان المحيطات. يمكن أن تنزلق صفيحتان أحدهما بازاء الأخرى، مكوِّنةً صدوعًا تحوُّليَّة الزحزحة مثل صدع سان أندرياس في كاليفورنيا. يمكن أن تتلاقى الصفائح وتتصادم، مُكوِّنةً سلاسلَ من الجزر البركانية وخنادق عميقة في المحيط، وأحزمة جبلية بركانية[٣] على طول السواحل، أو أحزمة ضخمة من جبالٍ مطوية [إلى الأعلى بفعل ضغط الاصطدام بعدما كانت في الأصل طبقاتٍ أفقية الاتجاه] بين الكتل القاريَّة[٤]. في أزمنةٍ كان لكوكب الأرض قارّات منفصلة متباعدة باتساع، وفي أزمنة أخرى ضُمَّتْ القشرةُ القاريَّة بضخامة في قارة كبرى أو قارتين كبريين. تُدرَس هذه التحركات ونتائجها الفيزيائية في فرع من علم الجيولُجي يُدعى بعلم دراسة حركات صفائح الأرض التكتونية.

---

١ الرف البحري هو المكان الخاص بكتلة صخرية تغطيها مياه فيضانات البحر على نحو دوري

٢ الحمل الحراري: إنتقال الحرارة بالحمل في إتجاه رأسي. ويحدث الحمل الحراري في السوائل والغازات ويكون توزيع الحرارة غير سوي. فعندما يُسَخَّن السائل أوْ الغاز فإنهما يتمددان وتتناقص كثافتهما. ترفع وتطفو المادة الساخنة الأقل كثافة بينما تغطس المادة الأبرد والأكثر كثافة لكي يحل محل المادة الساخنة والأخف كثافة، مما يشكل خلية حمل حراري أو تيار حمل حراري.

٣ الحزام أو الطوق أو السير هو نطاق من طبقات صخرية منكشفة على السطح

٤ الكتل القارية: قِطع صخرية، كتلية الحجم، قارّية الأصل وَ المنشأ

اقترح James Valentine و Eldridge Moores في عام ١٩٧٠م أنه بسبب أن حركات صفائح القشرة الأرضية أثَّرَت على الجغرافيا، فإنها يمكن تباعًا أن تؤثر على إمداد الطعام وعلى المناخ وتنوع أشكال الحياة. بعبارةٍ أخرى، ينبغي أن تاريخ تحركات صفائح الأرض كانت عاملًا مؤثِّرًا من الدرجة الأولى على تنوع سجل المتحجرات (انظر Valentine and Moores، ١٩٧٢م). وبعد مرور ثلاثين سنة، هل لا نزال نرى علاقة متبادلة؟

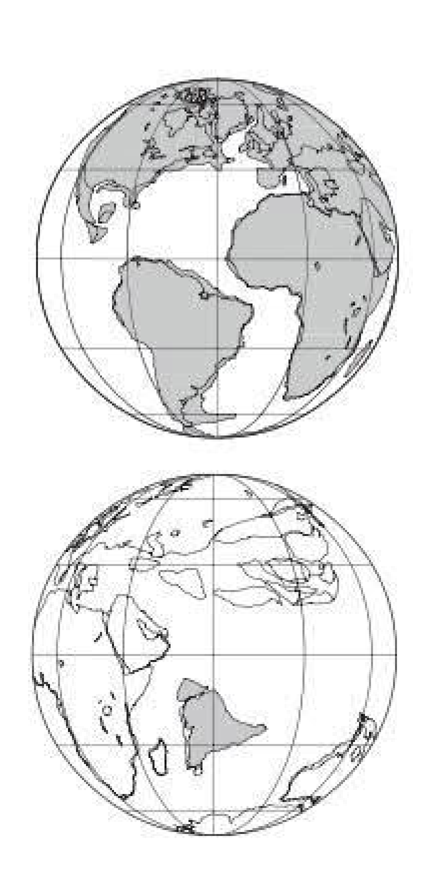
الإجابة المختصرة هي نعم. لقد انفصمت قارة أُمٌّ كبرى من دهر طلائع الحياة [أشكال الحياة البدائية] Proterozoic المتأخر _تُعرَف برودينيا Rodinia_ تدريجيًّا خلال العصرين الكامبري والأُرْدُوفِيشي، لتُكَوِّنَ عددًا من القارات الصغيرة التي توزعت عمومًا في خطوط العرض الدنيا حول كوكب الأرض. تتزامن الأحداث الانفصامية مع ظهور التنوع الكبير في العصرين الكامبري والأُرْدُوفِيشي. لقد كانت هناك تصادمات قاريّة عديدة منذ دهر أشكال الحياة القديمة Paleozoic الوسيط أثناء العصر البرمي، وتكونت كتلُ يابسةٍ أكبرُ. يتزامن الانقراض الكبير عند نهاية العصر البِرْمي مع الاندماج النهائي للقارات في قارة كبرى أمٍّ عالمية ضخمة، تُعرَف ببانجيا Pangea [قارة عظمى ضمت كل القارات الحالية التي انفصلت عنها بعد ذلك] (الشكل ٦– ٣)، مُكَوَّنةً من اتحاد كتلة يابسة شمالية كبيرة هي قارة لوراسيا Laurasia [التي تكون منها لاحقًا أورُبا وآسيا وأمِركا الشمالية]، وكتلة يابسة جنوبية تُعْرَفُ بجُنْدْوانا Gondwana [كانت تضم ما يُعرَف حاليًّا بالقطب الجنوبي وأفريقيا وأستراليا والهند وأمِركا الجنوبية].

يتزامن ظهور التنوع الذي بدأ في العصر الترياسي واستمر في حقبة أشكال الحياة الحديثة تمامًا مع التحطم [التفكك أو التشتت] التدرجي لجُنْدْوانا. كان التشتت يجري مجراه بحلول العصر الجوارسي، ووصل إلى ذورةٍ في العصر الطباشيري (الشكل ٦– ٤). استمرت الشظايا القارية في الانجراف، وفي العصر الحالي فإن القارات منفصلة عن بعضها البعض كما كان المرء سيتوقع على الإطلاق، حتى في عالَمٍ عشوائيٍّ.

بالتالي فإن أحداث تحركات الألواح الأرضية التي أثَّرَت على كوكب الأرض خلال الـ ٥٥٠ مليون سنة الماضية ينعكس في المنحنى البياني للتنوع الحيوي. فما هي العوامل الرابطة؟



الشكل ٦– ٣ الجغرافيا القديمة الخاصة بالعصر البرمي. قارتان كبيرتان جدًّا، جندوانا ولوراسيا، والتي اتحدتا لتُكوِّنا القارة الكبرى الأم بانجيا، مع وقوع بحر تِيثِيزْ Tethys بينهما على طول خط الاستواء. تصوِّر هذه الخريطةُ العالمَ في العصر البِرْمي المبكر، منذ حوالي ٢٨٠ مليون سنة ماضية، كانت قارة بانجيا شبه مكتملة في ذلك الزمن. حدث الانقراض البرمي الكبير بعد حوالي ٣٠ مليون سنة لاحقة.



الشكل ٦– ٤ جغرافيا العصر الطباشيري عند حوالي ٨٠ مليون سنة ماضية. بانجيا في العصر الحالي متشظية، وكان المحيط الأطلنطي مفتوحًا من عند نيو إنجلاند باتجاه الجنوب. لقد انفصلت أفريقيا والهند عن القارة القطبية الجنوبية وانجرفتا باتجاه الشمال.

الأقاليم

نعلم كلنا أن معظم الكائنات الحية تعيش فقط في جزء معين من العالَم؛ كمثالٍ، تعيش طيور الكيوي في نيوزيلاند فقط وحيوانات الكسلان في قارة أمِركا الجنوبية. ينطبق هذا النمط في التفاصيل أيضًا. توجد المتعضيات البحرية نمطيًّا في مجموعات مميَّزة من الأنواع تُدعى بالمُسْتَعْمَرات، والتي تعيش سويًّا في أنواع معينة من المواطن، مثل مُستعمَرات الشواطئ الصخرية، ومستعمرات المسطحات الطينية الوحلة[1]، وما شاكَلَ. كمثال، الشاطئ الشمالي الغربي لأمِركا الشمالية، حيث تغمره المياه الباردة، فإن لـه مستعمَرة نباتات وحيوانات مميَّزة على الشاطئ الصخري والتي تبدو تقريبًا هي نفسها من كولمبيا البريطانية [في كندا] وحتى وسط كاليفورنيا. تبعًا لذلك، يمكن تنظيم المستعمَرات الشاطئية للعالَم إلى أقاليم منفصلة جغرافيًّا، حيث يحتوي كل إقليم على مجموعته الخاصة من المُستعمَرات، مثل الإقليمين الأوريجوني Oregonian والكاليفورني الخاصين بأمِركا الشمالية (الشكل ٦– ٥).

الأقاليم ظواهر حقيقية، وليست نتاجًا اصطناعيًّا للنزوع البشري لتصنيف الأشياء. هناك نطاقات [أو انقطاعات، تباينات] إيكولُجية طبيعية على سطح كوكب الأرض، عادةً في أماكن حيث تكون درجات الاختلافات الجغرافية أو المناخية حادة، بحيث لا يمكن لأحد المرور من نظام بيئي إلى آخر بعبور مسافة قصيرة. أحد الأمثلة الكلاسيكية هي منطقة Point Conception على الساحل الكاليفورني. فهناك تسبِّبُ دورة المحيط اختلافًا حادًّا شديدًا في درجة حرارة الماء. ومن منظور البشر، فإن Point Conception منطقة "موضع الحَمْل الطاهر" Punta de la Limpia Concepción[2] تُعيِّن الحد الشمالي لشواطئ الساحل الغربي حيث يستطيع المرء التزلج بدون بدلة غوص، لكنْ يسهُل تصور أن الكائنات الحية تشعر بذلك الاختلاف أيضًا. إن المستعمَرات على كل جانب من Point Conception مختلفة جدًّا أحدها عن الآخر، بالتالي يُرسَم حد إقليمي هناك، حيث يتدرج الإقليم الأوريجوني بشدة وصولًا إلى الإقليم الكاليفورني (الشكل ٦– ٥).

كما تُحدَّد الأقاليم حول سواحل العالَم، فإنه يبدو أن عدد الأنواع المتشارَكة بين الأقاليم المتجاورة هي في العادة ٢٠% أو أقل.



الشكل ٦– ٥ يمكن تقسيم المحيط أو الغلاف الأحيائي البحري[3] إلى أقاليم بيولُجية. لا تُظهِر هذه الصورةُ كل الـ٣١ إقليمًا منهن، لكني قد شملتُ فيها كل الأقاليم حول الأمِركَتَيْنِ، للتركيز على الاختلافات بين السواحل الشرقية والغربية وتدرج خطوط العرض الشديد الذي يُنتِج أقاليمَ كثيرةً على طول السواحل الشمالية – والجنوبية. على النقيض، فإن الإقليم القطبي الجنوبي البيولُجي كبيرٌ جدًّا، لأن الكائنات المتعضِّية تهاجر بسهولة على طول خطوط العرض حول المحيط القطبي الجنوبي، والإقليم الهندي–الهادئي البيولُجي ضخم، لأن المُتَعَضِّيَات البحرية تهاجر بسهولة على طول السواحل الشرقية– والغربية وسلاسل الجُزُر. الإقليم الزيلاندي [النيوزيلاندي] البيولُجي صغير لأنه لا يمكن أنْ يشغل سوى منطقة محدودة من رف بحري ضحل.

---

١ المسطح الطيني: مساحة مستوية نسبياً من الغرين الناعم على امتداد شاطئ (كما في المصب النهري المحْمِي)، أوْ حَول جزيرة، ويُغمَر وي نكَشِف بشكل متبادل بالْمَدّ أوْ يُغطَّى بماء ضحل، مسطح مدِّي وحلي مجرد من النبات.

٢ "موضع الحَمْل الطاهر" Punta de la Limpia Concepción، وهي النقطة حيث تتلاقى قناة سانتا باربارة مع المحيط الأطلنطي، وهي لسان من الأرض داخل البحر.

٣ المحيط الأحيائي:جميع المساحة المسكونة أوْ المحبذة للسكنى بواسطة الكائنات الحية من سطح الأرض وتعرف بطبقة الغلاف الأحيائي أوْ الطبقة الأحيائية وعامة هو ذلك الجزء الذي يحيط بسطح الأرض ويحتوي على عناصر موجودات الحياة. وعامة هي المنطقة التي تسكنها الكائنات الحية ممثلة في طبقة رقيقة حول الأرض وتشمل سطح الغلاف الحجري والغلاف المائي وَ الغلاف الجوي السفلي

لقد حُدِّدَ حوالي ٣٠ إقليمًا على طول سواحل العالَم، في المعظم على أساس الرخويات، والتي هي واضحة ووفيرة وأعضاء سهلة التحديد في المستعمَرات الساحلية. بعض الأقاليم كبيرة جدًّا لأنها تشغل سوحلَ طويلةً تقع في نفس الحزام المناخي (الإقليم الهندي–الهادئي، الإقليم القطبي الجنوبي، الإقليم القطبي الشمالي)، وبعضها صغير، مثل الإقليم النيوزيلاندي، والذي يتضمن المستعمَرات حول سواحل نيوزيلاند فقط (الشكل التوضيحي ٦– ٥).

كل إقليم يحتوي على مستعمَراتِه الخاصة به وبالتالي ففيه مجموعات فريدة من الحيوانات التي تشغل كُوَّات [فراغات، وظائف، طرق اعتياش] إيكولُجية عديدة. كمثال، فإن مستعمَرة الساحل الصخري المتموضع بين المد والجزر في نيوزيلاند لها نظائر إيكولُجية [تطور تقاربي أو متلاقٍ] في كولُمبيا البريطانية في كندا، رغم أن فصائل وأجناس الحيوانات مختلفة تمامًا في كلا المستعمَرَتين.

إن مجمل التنوع الخاص بأشكال الحياة الحيوانية البحرية في المياه الضحلة يعكس مباشرة [يتناسب مع] عدد الأقاليم، والذي بدوره ينعكس على المناخ والجغرافيا. لكن إن تكن حركات طبقات القشرة الأرضية تؤثر على جغرافية الأرض بدرجة كافية، فإنها تُغيّر أيضًا عدد الأقاليم التي تستعمرها الكائنات الحية، وذلك بدوره يُزيد أو يُنقِص التنوعَ البيولُجيَّ العالَمي. ففي حال أن كل الظروف الأخرى تكون كما هو متوقع، فإن عالَمًا ذا قارات متباعدة منفصلة باتساع سيكون له سواحل أكثر طولًا، متناثرة حول العالم، مما يوفر الكثير من الأقاليم البيولُجية البحرية وتنوعًا عاليًا لأشكال الحياة.

القطبان والمناطق المداريَّة

خط الاستواء له مناخ منتظم مُطَّرِد تمامًا، ونفس الأمر ينطبق على النطاق الاستوائي المتسع على كوكب الأرض، والذي يمتد إلى 5 ,23° شمالًا وجنوبًا. تكون الشمس هناك قوية، وتباين درجات الحرارة بين الفصول قليل. النتيجة العامة لذلك _وخاصةً في البحر_ أن إمداد الغذاء مستقر، متوفر بنفس المستوى تقريبًا على مدار العام. يستطيع نوعٌ من الأنواع أن يتخصص في مصدر أو مصدرين غذائيين معينين ويمكنه الاعتماد عليه أو عليهما لكونه(ما) متاح(ين). عندما يشرَع كل نوع في الاعتماد على تنوع محدود ضيق من المصادر الغذائية، فإنه يتكيف تمامًا على التغذي عليهن لدرجة أنه لا يستطيع بسهولة التحولَ إلى بدائل. هكذا، يتطور تنوع كبير من الأنواع المتخصص، متنافسةً مع بعضها هامشيًّا فقط، على الأقل بالنسبة للغذاء. كمثال، في سهول سيرينجيتي Serengeti في شرق أفريقيا، أنواع عديدة من النسور الأفريقية متقمّمة على الجثث. لكن نوعًا منها له رأس ومنقار متكيفان للتمزيق عبر الجلد القاسي للجثة الطازجة، وآخر متكيف فقط لأكل الدواخل أو الحشايا الطرية من الجثث المفتوحة، وآخر متخصص في تنظيف العظام، وآخر يأكل الفُتاتِ. عامةً، يعيش كل نوع مفرد في عالَمٍ ذي مصادر غذائية مستقرة، وإن التنوع الكبير للمستعمَرات الاستوائية [المَداريّة] هو انعكاس موثوق به لهذا النوع من الأنظمة البيئية الإيكولُجية [المتعلقة بعلاقات الأنواع ببعضها البعض وبالبيئة وطرق اعتياشها] المعقَّدة. إن التنوع الهائل لأشكال الحياة في البحر وفي الشعب المرجانية وحولها هو مساهم رئيسي كبير في التنوع البيولُجي الكلي الخاص بالمناطق الاستوائية.

أما في خطوط العرض العالية، فعلى النقيض، قد تتباين إمدادات الطعام بدرجة كبيرة من فصل إلى آخر ومن سنة إلى أخرى. كمجمل، فإن إمداد الطعام قد يكون عاليًا. تزدهر نباتات التَنْدَرة[1] بطريقة مشهدية مثيرة في الربيع. تكون هناك عوالق غذائية غنية في المياه القطبية خلال الربيع والصيف، وتهاجر ملايين الطيور البحرية وآلاف الحيتان إلى هناك لتشارِكَ في الغذاء الوفير الذي يُنتَج. وتعج المياه القطبية الجنوبية بملايين الأطنان من القشريات الصغيرة من نوع krill والتي تتغذى على العوالق وبدورها تتغذى عليها الأسماك وطيور البحر والبطاريق والحيتان والفقمات. يهاجر طائر الخرشنة المائي القطبي الشمالي من قطب إلى الآخر تقريبًا، موقِّتًا مكوثَه عند كل طرف من العالم بحيث يتزامن مع إمداد الغذاء الوفير. إلا أنه بالنسبة للكائنات المتعضية التي تعيش طوال العام في المناطق القطبية، تتناقض وفرة الربيع مع مجاعة الشتاء. فالنباتات لا تنمو في ظلام الشتاء. تقلُّب [=تباين] توفر الغذاء هو المشكلة.

حيثما تتنوع إمدادات الطعام، لا تستطيع الحيواناتُ أن تكون متخصصة كلٌّ منها في التغذي على مصدر غذائي واحد؛ بل يجب أن يكونوا متعددي المصادر الغذائية. يتشارك متعددو المصادر الغذائية بعض المصادر الغذائية، ويتنافسون على الأرجح أكثرَ مما يفعل المتخصصون [في التغذي على صنفٍ واحدٍ]. وإن يكن [وطالما] الأمر كذلك، فإن أنواعًا متعددة المصادر الغذاية أقلّ يمكنها التواجد على نحو مشترك متغذيةً على نفس المصادر

[1] التندرة: منطقة الأقاليم المحيطة بالدائرة القطبية الشمالية. وهي عبارة عن سهل أجرد به مستنقعات، يكون في المناطق القطبية ودون القطبية في أمركا الشمالية وأوربا وآسيا، وتتميز بمساحات شاسعة من الطين الكدر الأسود تربة المستنقعات تغطي ترة تحتية دائمة التجمد وعامة فإن الأشجار التي تنمو في مناطق التندرة تكون في العادة سلالات قزمة من أشجار كبيرة

الغذائية مما يمكن لأنواع متخصصة التغذية. في البيئات الموسمية أو المتقلبة، حيث يجب أن تكون الكائنات المتعضية متعددة المصادر الغذائية، فإن التنوع الحيوي يكون أقلَّ. لذلك هناك تدرج وتباين عالمي في التنوع الحيوي حقًّا، حيث التنوع عالٍ عند خط الاستواء ومنخفض عند القطبين.

يمكن لحركات طبقات القشرة الأرضية أن تُحرِّكَ القاراتِ حول الكوكب. عندما تكون هناك قارات كثيرة في الخطوط العرضية المداريّة، سيتوقع المرءُ تنوعًا أعلى مما سيوجد عندما تكون الكثير من القارات في خطوط العرض العالية.

الجزر والقارات والقارات الكبرى أو القارات الأمهات

تميل مجموعات الجزر إلى أن يكون لها مناخات ألطف وأكثر اعتدالًا، والتي تُسمى بالمناخات البحرية أو المحيطية، مقارنةً بالقارات المجاورة لها، بصرف النظر عما إذا تكون استوائية أو عند خطوط العرض العالية. وهكذا فإن الجُزَيْراتِ البريطانية واليابان لهن مناخ أكثر اعتدالًا من سيبيريا؛ وجزر الإنديز الغربية لها مناخات أكثر اعتدالًا من المكسيك؛ وإندونيسيا لها مناخ ألطف من الهند الصينية.

القارات الكبيرة لها مناخات قاسية على نحو خاص بالنسبة لمواضع خطوط العرض الخاصة بها. كمثال، آسيا كبيرة للغاية لدرجة أن الحرارة الشديدة تتراكم في داخلها في الصيف الشمالي، مكوِّنًا منطقةً منخفضة الضغط. آخرَ الأمرِ يجلبُ الضغطُ المنخفضُ تدفقًا ضخمًا من الهواء من المحيط، وهو الريح الموسمية الصيفية، التي تُسَبِّبُ موسمًا مطيرًا رطبًا للمناطق التي على طول الحواف الجنوبية والشرقية للقارة، من الصين إلى باكستان (الصورة ٦– ٦أ). وفي الشتاء يصير داخليُّ آسيا باردًا جدًّا، فيُنْتَج نظامٌ عالي الضغط، مما يجلب تدفقًا من الهواء، هو الريح الموسمية الشتوية، مسبِّبًا مناخًا باردًا جدًّا للهند والصين وكوريا (الصورة ٦– ٦ب). تتأثر وتستجيب الكائنات المتعضِّية البرية للتقلب الموسمي لمناخات الريح الموسمية، وتتأثر الكائنات المتعضية في المياه الساحلية الضحلة بقوة أيضًا. عندما يُضَخُّ الماء الفقير بالمواد الغذائية من سطح المحيط المفتوح في فترة الريح الموسمية الصيفية، يصير الغذاء نادرًا. وعندما يُضَخُّ الماءُ باتجاه الساحل في فترة الريح الموسمية الشتوية، تُشفَط المياه الأعمق إلى السطح وتَجلِب الموادَ الغذائية ومستوياتٍ عاليةً من وفرة الغذاء. كنتيجة لذلك، فإن تنوع الكائنات البحرية على طول سواحل الهند أقل بكثير جدًّا مما عند الفلبين وإندونيسيا، واللتان هما بعيدتان بدرجة كافية عن البر القاري الآسيوي بحيث أنها تتأثر بالريح الموسمية أقل بكثير قوة. الشعاب نادرة وفقيرة التنوع الحيوي على طول ساحل البر القاري الآسيوي، لكنها وافرة ومتنوعة في المنحنى الكبير من الفلبين إلى الشعب المرجاني الحاجز الأسترالي[1].

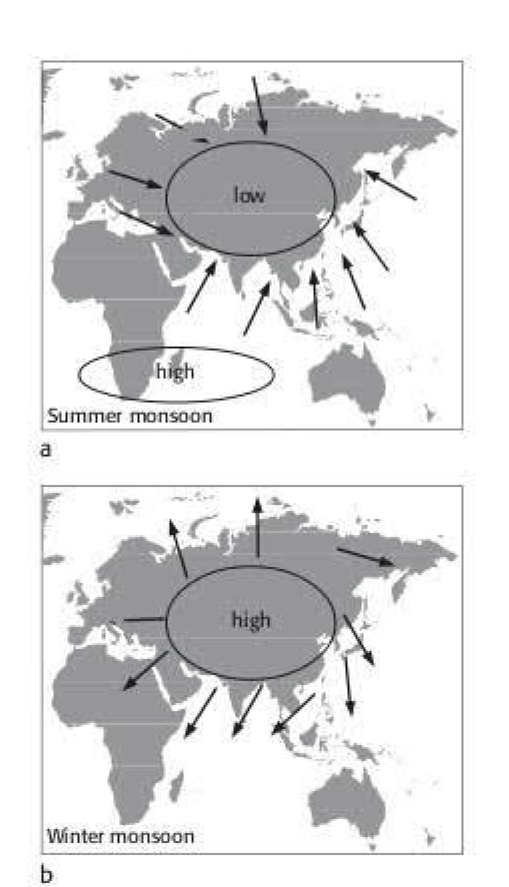
هكذا فإن تأثيرات الجغرافية القارية كنقيض للجغرافية المحيطية لها تأثير هام على التنوع العالَمي، رغم أن تأثيراتها مع ذلك متصلة مباشرة مع التباين في إمداد الغذاء.

في عالمٍ محيطيٍّ، تكون قاراته صغيرةً ومنفصلةً على نحوٍ واسعٍ، بحيث تكون هناك أقاليم كثيرة، تميل كل مستعمَرة في إقليمٍ إلى امتلاك إمدادات غذائية ثابتة وتنوعٍ بيولُجيٍّ عالٍ. بالتالي، كلما تشظت القارات أكثرَ إلى وحدات أصغر، كلما صار مناخُ العالَمِ أكثرَ محيطيةً، وكلما تنوعت أشكال حياتها الحيوانية والنباتية.

تحدث الحالة القصوى الأخرى عندما تتحد قارات العالَم معًا في قارة كبرى أم، مثل رودينيا أو بانجيا، فلا تكون هناك أقاليم أقل فقط، بل كل إقليم يكون به مستعمَرات أقل تنوعًا. والقارات الكبرى الأمهات بها ريح موسمية جبارة.

---

١ الشعب المرجاني الحاجز: جدار رصيف عالٍ شعابِي طويل ضيق من صخور المرجان يمتد موازيًا وبجوار ساحل جزيرة أوْ قارة فوق سطح البحر أوْ تحته مباشرة، وعامة فإن الشِّعاب الواقية أوْ الحاجزة تتكون من بقايا عضوية حيوية وَتكون مفصولة أوْ مبتعدة عن الشاطيء، وتحجز بينها وبين الشاطيء جسماً مائياً، يعرف بالهوْر أوْ بالبِرْكَة الشاطئية أوْ بِالْبَحْرَة الشاطئية Lagoon، تسمح بنمو المرجان فيها ليساعد في بناء الشُّعْب. وقد تجنح القوارب الصغيرة أحياناً فوق شعب حاجزي.



الشكل ٦- ٦ الريح الموسمية لجنوب شرقي آسيا.
(أ) في الصيف، تتراكم السخونة على القارة وتولِّد منطقةً ضغط منخفض تجذب الهواء الرطب من المحيطات المحيطة.
(ب) في الشتاء، يولِّد الضغط المنخفض فوق القارة رياحًا باردة تهبّ باتجاه البحر والسواحل.

عوامل أخرى أيضًا تؤثر على التنوع

النمط الكلي لبيانات التنوع عبر الزمن له بالفعل تفسير أولي من خلال تأثيرات حركات طبقات القشرة الأرضية. لكن ذلك لا يمكن أن يكون كل القصة، لعدة أسباب:

١- **أشكال الحيوات الحيوانية المتغيرة عبر الزمن:** لو كانت حركات طبقات القشرة الأرضية هي عامل التحكم الوحيد في التنوع، لكانت نفس مجموعات الحيوانات تقريبًا ستنشأ وتنقرض مع التغيرات في الجغرافيا العالمية. بدلًا من ذلك، نرى تغيراتٍ درامية في مجموعات الحيوانات الحيوانية التي يخلف أحدُها الآخرَ زمنيًّا.

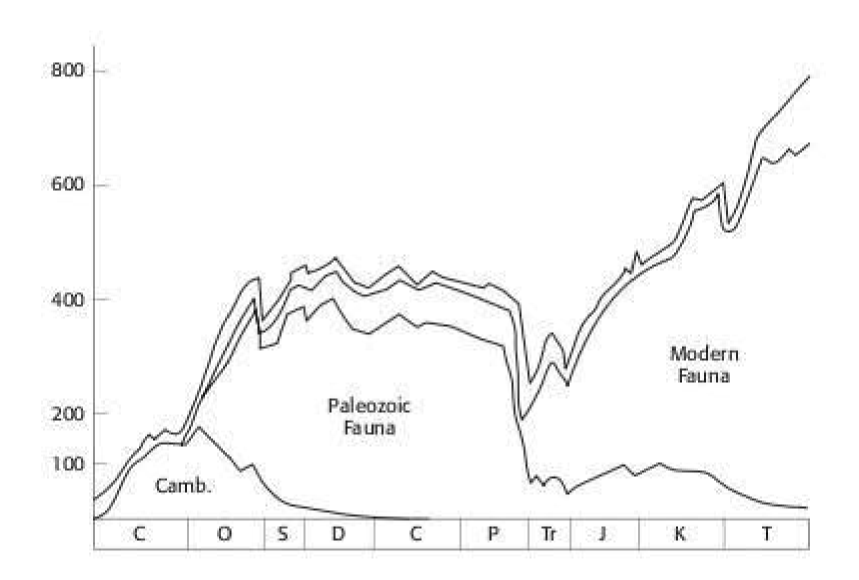
٢- **الزيادة في التنوع العالَمي:** الزيادة الكلية في التنوع العالمي من العصر الإدياكاري إلى الأزمنة المعاصرة ليست متنبأً بها على أساس حقيقة حركات طبقات القشرة الأرضية.

٣- **الانقراضات الكبيرة أو الجماعية:** الانقراضات الكبيرة أكثر درامية من التشعبات التطورية الكبيرة. كمثال، فإن الانقراض البِرْمِيَّ لم يحدث تدريجيًّا عبر الـ ١٥٠ مليون سنة الخاصة بدهر أشكال الحياة القديمة، بينما تصادمت وتجمعت القارات قطعةً قطعةً. على الأرجح، فإن تجمع القارات هيَّأ إطلاقَ حدوث الانقراض الكبير في العالَم، ثم انتُزِعَ زناد الانقراض. يوجد الكثير للغاية من الانقراضات الكبيرة المفاجئة في سجل المتحجرات بالنسبة لبرهان حركات القشرة الأرضية فلا يصلح ليكون كافيًا بالكامل. حتى لو أن حركات طبقات القشرة الأرضية هيأت العالَمَ لحدوث الانقراض، فيبدو أننا نحتاج نظريةً منفصلةً ما لتفسير الانقراضات نفسها.

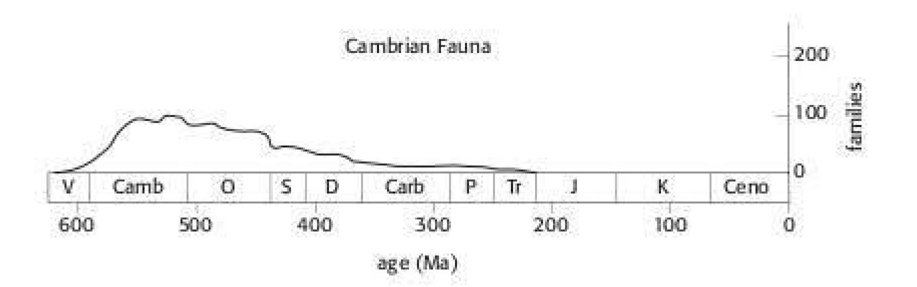
تغير الحيوانات القاطنة للأرض عبر الزمن

الثلاثة حيوات حيوانية الكبيرة

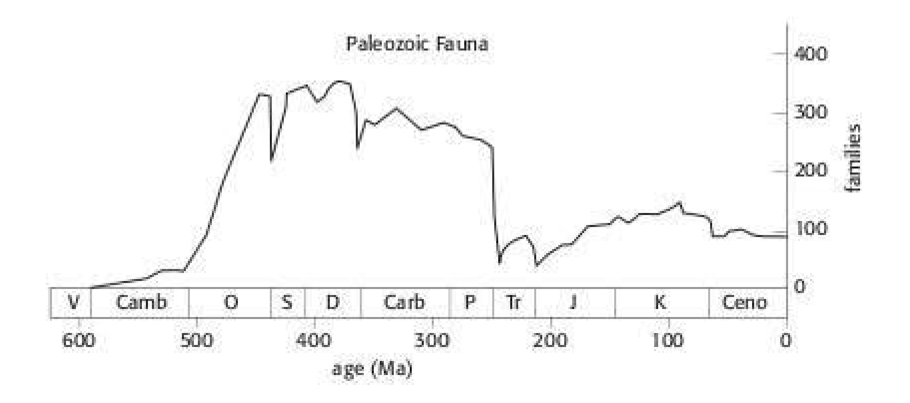
صنَّفَ Jack Sepkoski بياناته عن الفصائل البحرية عبر الزمن ليرى إن كان هناك مجموعات فرعية من الكائنات المتعضية تتشارك أنماطًا متشابهةً من التنوع. ساعده تحليل الكمبيوتر على تمييز ثلاثة أقسام كبيرة من الحياة البحرية عبر الزمن، والتي تمثل ٩٠% من البيانات (الشكل ٦– ٧). سماها Sepkoski بالحياة الحيوانية الكامبرية، والحياة الحيوانية القديمة، والحياة الحيوانية الحديثة. إن تلك الحيوات الحيوانية تتداخل زمنيًّا، وأسماؤها تُستعمَل فقط للتسهيل. لكنها تعكس بالفعل حقيقة أن المجموعات المختلفة من الكائنات المتعضِّية لها تواريخ مختلفة جدًّا.



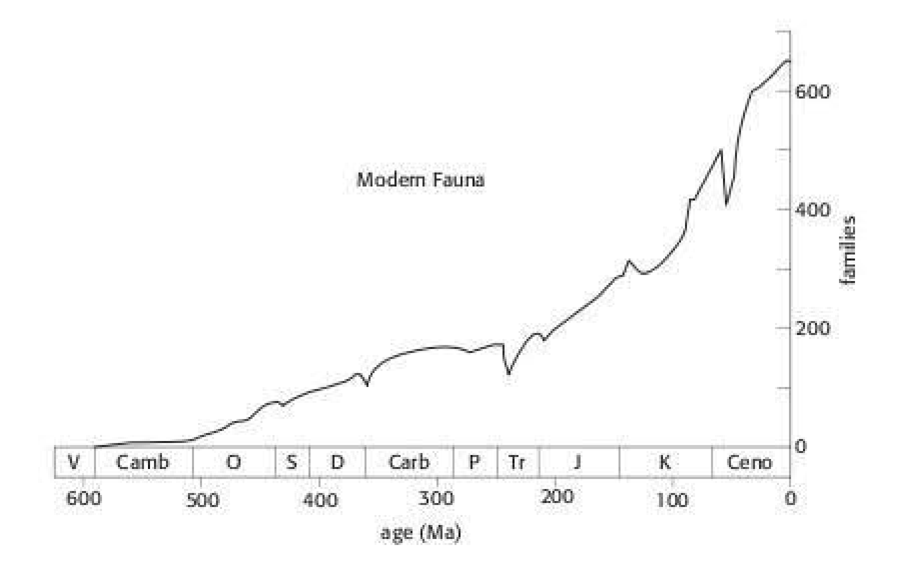
الرسم البياني ٦– ٧ الثلاث حيوات حيوانية التي حددها Jack Sepkoski في تحليله لسجل المتحجرات البحرية على مستوى الفصائل. إنها مجموعات فرعية من البيانات الظاهرة في الرسم البياني ٦– ١ (بيانات من Jack Sepkoski، ١٩٨١– ١٩٨٤).



الشكل البياني ٦– ٨ الحياة الحيوانية الكامبرية هيمنت عليها ثلاثيات الفصوص [التريوبوليت مفصليات منقرضة] وهي ذات تنوع حيوي منخفض عمومًا (حوالي ١٠٠ فصيلة). (بيانات من Sepkoski، ١٩٨١– ١٩٨٤م).



الشكل البياني ٦– ٩ الحياة الحيوانية لأشكال الحياة القديمة هيمنت عليه متغذياتٌ على العوالق ومفترسات تقبع منتظرة، وله تنوع حيوي أعلى من الحياة الحيوانية للعصر الكامبري (قُرابة الـ٤٠٠ فصيلة). (بيانات من Sepkoski، ١٩٨١– ١٩٨٤م).



الشكل البياني ٦– ١٠ الحياة الحيوانية الحديثة تهيمن عليها الرخويات والمفترسات نشطة الحركة، ولها تنوع بيولُجي أعلى من الحياة الحيوانية لأشكال الحياة القديمة (أكثر من ٦٠٠ فصيلة). لم تتأثر الحياة الحيوانية الحديثة إلى حد كبير بانقراض العصر البِرْميّ. (بيانات من Sepkoski، ١٩٨١– ١٩٨٤م).

تُظْهَر تواريخ الثلاث مجموعات حيوات حيوانية بحرية في الأشكال البيانية ٦– ٨ و٦– ٩ و٦– ١٠. تحتوي الحياة الحيوانية الكامبرية على مجموعات الكائنات المتعضية _وخاصةً ثلاثيات الفصوص trilobites_ التي كانت مسؤولةً إلى حدٍّ كبيرٍ عن زيادة التنوع في العصر الكامبري. لكنْ بعد أوجٍ للتنوع في العصر الكامبري المتأخر، انخفض تنوع الحياة الحيوانية الكامبرية في العصر الأُرْدُوُفِيشي وما بعده (الشكل البياني ٦– ٨)، رغم أن مجموعات بحرية أخرى ازدادت [تنوعًا] على نحوٍ دراميٍّ في ذلك الزمن (الشكل البياني ٦– ٧).

بنفس الطريقة، فإن نجاح الحياة الحيوانية القديمة كان مسؤولًا بالكامل تقريبًا عن الزيادة الكبيرة في التنوع في العصر الأُرْدُوُفِيشي، وانخفضت ببطءٍ بعد ذلك (الشكل البياني ٦– ٩). عانت الحياة الحيوانية القديمة بشدة في انقراض العصر البِرمِيِّ المتأخر، وتعافيها بعد ذلك كان ضئيلًا مقارنةً بالتنوع البيولُجي الدرامي للحياة الحيوانية الحديثة (الشكل البياني ٦– ١٠).

تُظْهِرُ الأشكالُ البيانية ٦– ٨ و٦– ٩ و٦– ١٠ محتويات الثلاث مجموعات حيوات حيوانية. إن تحديدهن تقريبيٌّ، لأن جمع Sepkoski للفصائل هو على أساس مستوى الأصناف أو الشُعَب الفرعية. (فبإدراك متأخر، كان يمكن للمرء تقسيم الحيوانات البحرية تقسيمًا إلى مجموعاتٍ تقسيماتٍ فرعيةٍ كانت ستوفر تقسيماتٍ أكثَرَ دقةً فيما بين الثلاث مجموعات حيوات حيوانية. كمثالٍ، كان يمكن للمرء فصل الشعب المرجانية الخاصة بالحياة الحيوانية القديمة عن الشعب المرجانية اللاحقة). لا يوجد تشابه في التراكيب والسمات الحيوانية بين أعضاء الثلاث مجموعات حيوات حيوانية، لكن لهن [لمجوعات الحيوات] مغزى إيكولُجي.

تفسير الثلاث مجموعات حيوات حيوانية القديمة

تعني أنماط التنوع أن الفرص الإيكولُجية [الأدوار أو الكُوَّات أو الفراغات البيئية، طرق الاعتياش] في محيطات العالَم تغيرت على نحوٍ ما عبر الزمن لتؤيد مزيجًا إيكولُجيًّا معيَّنًا وانتواعه في كل مرة ثم لتسمح بانتواع أمزجة أخرى. على نحو واضح فإنه يمكن أن تكون هناك تفسيرات عديدة للحقائق، وإن لدي مساحة فقط لمناقشة ودراسة بعض الاقتراحات. إن أنماط التنوع عبر الزمن كانت معروفة كمُجمَلٍ بلا تفاصيلَ لبعض الزمن، لذا فإن بعض التفاسير تسبق زمنيًّا تحليلَ Sepkoski.

في سبعينيات القرن العشرين، أشار Valentine ڤالنْتَيِنْ (انظر Valentine, 1973) إلى طرق الحياة المختلفة التي تُشجَّع في الأنماط المختلفة من الإمداد الغذائي. وجادل بأنه في العصر الكامبري كانت القارات غير منفصلة بتباعد واتساع، كانت إمدادات الغذاء متقلبة متباينة، وكانت أكثر طريقة ذات أفضلية للحياة هي التغذي على الرواسب، فهناك دائمًا غذاءٌ ما في طين قيعان البحار. كتب ڤَالنْتَيِنْ أنه بالتالي فقد كانت الحيوانات الكامبرية "بسيطة ومعتاشة على الطين". إن متحجرات طَفْلِ بورجيس ليست بسيطة، لكن الكثير منها بالتأكيد كانت منقِّبة ومعتاشة في الطين. حتى بين الحيوانات لينة الأجساد، هيمنت المفصليات على مجموعات الحيوات الحيوانية الكامبرية [في مناطق العالم المتعددة] من جهة الأعداد والتنوع، ومعظمها كانت متغذياتٍ على الرواسب.

عاشت الحياة الحيوانية لأشكال الحياة القديمة في مستعمَراتٍ أكثر تحديدًا بإحكامٍ، وذوات بنيواتِ [تراكيب، أجهزة] تغذيةٍ أكثر تعقيدًا. كانت القارات قد صارت أكثر انفصالًا بتباعد في العصر الأُرْدُوْفِيشي، بالتالي كما يتوقع المرء كان هناك إمداد غذاءٍ أكثر إمكانية للاعتماد عليه في العوالق، مما ساعد وشجع على إضافة المتغذيات بترشيح الغذاء من المياه إلى المُستعمَرات البحرية. وأيضًا فإن وفرة كمية أكبر من إمداد الطعام في شكل متغذيات على ترشيح الغذاء من الماء ثابتة معتاشة في القاع سمح للمفترِسات [اللواحم] بطيئة الحركة بأن تتنوع [تتنوع] أكثرَ. في الواقع، وصلت المتغذيات بترشيح الماء إلى أعلى [من القاع] في الماء وتغذت في مستويات مختلفة [من الماء]، وكان هناك أكثر منها يعتاش بالحفر في الرواسب. كان النزوع العام هو لإضافة طرق جديدة للحياة، أو طوائف، لمجموعات الحيوات الحيوانية البحرية [في مناطق العالَم]. بالإجمال، يبدو أن حيوانات أشكال الحياة القديمة قد قسَّمنَ طرقهن في الحياة على نحو أكثر تميزًا بمرور الزمن.

إن كان انقراض العصر البِرْمِيّ قد حثت عليه تصادات القارات _التي كوَّنتْ القارة الكبرى بانجيا Pangea_ فسيتوقع المرء أن المتغذيات بترشيح الغذاء من الماء الخاصة بحقبة أشكال الحياة القديمة والمفترسات التي اعتمدت على التغذي عليهن عانين أزمة أكبر مما عانته المجموعات الأخرى، لأن إمداد الغذاء في محيطات العالَم صار أكثر تقلبًا وتباينًا. وفي العموم، فهذا التوقع صحيح. فالمرجان وعضديات الأقدام ورأسيات الأرجل[١] والحيوانات الطحلبية والزنبقانيات[٢] عانت من انقراض العصر البرمي بشدة أكثر. مجدَّدًا وعلى نحوٍ قابل لتوقعه، فإن مستعمَرات العصر البِرْمِيّ التي عانت أكثرَ في الانقراض البرمي كانت مجموعات الحيوات الحيوانية المعتاشة في الشعاب.

لكنْ يَصْعُبُ أكثرَ تفسير نشأة الحياة الحيوانية الحديثة. ففي حال كون كل الأمور كما نتوقعها، فإن المرء كان سيتوقع أنه عندما انفصلت القارات مجددًا في حقبة أشكال الحياة الحديثة، كانت المفترِسات والمتغذيات بترشيح الغذاء من الماء ذوات النمط الخاص بحقبة أشكال الحياة القديمة ستُؤيَّد من جديدٍ. إلا أن ما حدث هو أنها [أشكال الحياة القديمة] لم تكن قد انقرضت تمامًا، وكما هو متوقَّع بالتأكيد فقد تعوفِيَتْ. في الواقع، فقد تعوفيت، لكنْ على نحوٍ ضعيف خافت جدًّا. معظم الانتواع الخاص بحقبة أشكال الحياة الحديثة قد حققتها مجموعاتٌ أخرى برزت في تحليل Sepkoski باعتبارها الحياة الحيوانية الحديثة. أضافت هذه المجموعاتُ الجديدة طوائفَ أكثرَ، على نحو خاص حيوانات أكثر اعتياشًا في قيعان البحار حفارة في الرواسب، ومفترِسات جديدة.

اقترحَ Steven Stanley and Geerat Vermeij الافتراسَ كعاملٍ رئيسيٍّ في نشأة الحياة الحيوانية الحديثة، فيما دعاه Vermeij بثورة الحياة البرية الحديثة (انظر Vermeij،١٩٧٧). يبدو أن المفترِسات الجديدة التي ظهرت في العصر الطباشيري الوسيط كانت أكثر فاعلية عن سابقاتها في الهجوم على الحيوانات على قيعان البحار. فتطورت البطن قدميات [مَعِدِيَّات الأرجل] الحديثة، قادرةً على مهاجمة الأصداف بألسنة قرنية radulae مدعومةٍ بإفرازات حمضية وسموم. وصارت القشريّات الكاسرة للأصداف وفيرةً، كما صارت الأسماك العظمية ذوات الأسنان الكاسرة للأصداف الكفؤة وفيرةً. ربما حوالي ذلك الزمن صارت المتغذيات بترشيح الغذاء من الماء _والتي هي مثبَّتة مستقرّة إلى حد كبير في الأسطح المفتوحة لقيعان البحار_ أكثر عُرضةً للتأذي بالافتراس. ولقد استُبْدِلَتْ بـ [حل محلها] الحيوانات التي تستطيع ترشيح الطعام من ماء البحر الذي تضخه إلى داخل جحورها. ذوات الصمامين الحفارة[٣] بممصاتها[٤] والقنفذانيات أو قنافذ البحر echinoids[5] الحفارة تمثل أعضاء وعناصر هامة جدًّا من الحياة الحيوانية الحديثة، بالإضافة إلى المفترِساتِ الكفؤة حرة الحركة والتجوال بتوسع مثل البطن قدميات والأسماك.

---

١ رأسيات الأرجل: إحدى طوائف الرخويات البحرية التي تتميز بإكليل من الأرجل حول الفم. وقد باد أغلبها، مثل :الأمونيتات والبلمينيتات والنيتوليدات وتتميز الرأسقدميات بتحول أجزاء من الرأس إلى زوائد تشبه الأرجل أَوْ الأقدام، وتشمل الأخطبوط والحبَّار.

٢ الزنبقانيات: نوع من شوكيات الجلد تعيش عادة مثبتة بجذوع أو ساق على البحر ولها أيادٍ مشعة وأرجل طويلة، وتلتصق بالقاع بواسطة جذع من أقراص هيكلية أَوْ جذور هيكلية أحيانًا مزدوجات المصراعين، حيوان من الرخويات أَوْ المسرجيات أَوْ المسرجانيات، براكيوبودا أَوْ أستروكودا له صدفتان متحركتان، تفتحان وتقفلان، متساويتين أَوْ شبه متساويتين، يربطهما مفصل. والمحار حيوان ذو مصراعين وتشمل ذوات المصراعين كل أنواع المحار كالبطلينوس والمحار والإسكالوب Clams, Oysters, and Scallops وبلح البحر Mussels، وعامة فهي حيوانات جليسة، أَوْ مثبتة أَوْ مسلكية أَوْ مثقبة في الراسب، وليس لها رأس مميز وتمتلك وخيشوم شرائحي وقدم بلطية الشكل على كل جانب من الجسم المتماثل الجنبين.

٣ ممصَّاتها: مزارقها، زرّاقاتها، مثاعبها، سحَّاراتها: السيفون عضو أنبوبي الشكل في بعض الرخويات يحمل الماء إلى الخياشيم أَوْ يطرد السوائل من الحُجرة الخيشومية. ويمثل السيفون أنبوبتان لحميتان تمتدان متوازيتين من مؤخر الحيوان في طائفة المحاريات إحداهما سفلية لسحب الماء إلى الداخل، والأخرى علوية لطرد الماء إلى الخارج .والْمِثْعَب :أنبوبة منثنية على شكل حدوة فتحتها إلى أسفل وأحد فرعيها أطول من الآخر .وَ يستخدم الْمِثْعَب ضغط الهواء والجاذبية الأرضية لنقل سائل من مستوى إلى مستوى أدنى

٤ قنافذ البحر Echinozoan: أيٌّ من القنفذيات أو القنفذانيات التابعة لصنف قنافذ البحر والمتميز بشكل شبه كروي إلى كروي معدل، وأطباق كلسية متشابكة أَوْ معشّقة و أَذْيل متحركة، مثل :قنفذ البحر، وعامة فهي شعبة من الحيوانات البحرية بيضية أَوْ بصلية الشكل. ولها خرطوم عضلي و زوج واحد من الهلب. ويعيش أفراد هذه الشعبة في الشقوق الصخرية أَوْ في جحور على شكل حرف U محفورة في الوحل أَوْ الرمل

أحد التفسيرات الأخرى المحتملة هي نظرية الحفّار أو البلدوز، وهي في أغلبها من عمل Charles Thayer (انظر Thayer، ١٩٨٣). لقد أشار Thayer إلى اختلاف رئيسي بين الحياة الحيوانية الحديثة والحياة الحيوانية القديمة؛ وهي الوفرة النسبية والتنوع للأشكال الحافرة وصانعة الجحور القوية (خاصة الديدان وقنافذ البحر والقشريات وذوات المصراعين) في مستعمَرات الرواسب الطرية الخاصة بالحقب الحديثة. إن خضخضتهن [تحريكهن القوي] المستمر للرواسب يعني _من بين أشياء أخرى_ أن المتغذيات بترشيح الغذاء من الماء المثَّبتةَ على القيعان وجدن صعوبة في الالتصاق كيرقات، متعرضات باستمرار لخطر أن ينقلبن كبالغات، وكن عرضة من وقت إلى آخر على الأقل إلى شوائب أو كِدْرٍ من الرواسب المقاطِعة التي تؤدي إلى سد مرشحاتها. إن معظم المتغذيات بترشيح الغذاء من الماء الناجحة على الرواسب الطرية في العصر الحالي هي أشكال متحركة، أما المتغذيات بالترشيح المثبّتة فمقتصرة على الموطن المقيّد نسبيًا الخاص بالمواد أو القِوامات الصلبة[1]. معظم المتغذيات بترشيح الغذاء من الماء الخاصة بحقبة أشكال الحياة القديمة كانت غير متحركة، ولم تكن قادرة على المنافسة بنجاح مع الحياة الحيوانية الحديثة رغم أن العالَم المعاصر محيطي نسبيًّا ويشجِّع المتغذياتِ بالترشيح.

لقد انتُقِدَ عملُ Thayer على أساس أنه قد كانت هناك حيوانات حفّارة في حقبة الحياة القديمة، لكن هذا الانتقاد غير صالح. الكثير من عناصر الحياة الحيوانية الحديثة كانت موجودة في حقبة الحياة القديمة، لكنها لم تكن مهيمنة، بالتالي فإن حفرهن كان محدودًا. نحتاج إلى تفسير تلك الحقيقة _بالتأكيد_ لكن فرضية الحفار لن تتضرر.

تعرضت فرضية الافتراس لانتقادات متشابهة. كمثال، يُسجَّل حاليًّا من آن إلى آخر اكتشاف حفر في الأصداف قامت به البطن قدميات تصل إلى زمن العصر الديڤوني، لكن ذلك لا يؤثر على الصلاحية العامة للفرضية.

يمكن أن يكون عامل الافتراس وعامل الحفر قد عملا كلاهما. إن الافتراس وكدر الرواسب السادّ للمرشحات كلاهما تفسيران معقولان لفشل أشكال الحياة الحيوانية القديمة في التعافي بدرجة مهمة في حقبة الحياة الحديثة، وكلاهما يمكن أن يفسرا انتواع حقبة الحياة الحديثة في حقبة الحياة الحديثة المتأخرة.

الزيادة في التنوع العالمي

لماذا هناك تنوع أكثر في المحيطات في العصر الحالي أكثر مما كان هناك أثناء أوج تنوع دهر أشكال الحياة القديمة؟ إنه ليس فحسب نجاح الرخويات والقشريات، فقد كانت هناك رخويات وقشريات في دهر أشكال الحياة القديمة. لا بد أنه قد كان هناك نوع ما من التغير الكلي في إيكولُجيّة العالَم والذي شجَّعَ على تنوع أكبر منذ حقبة الحياة الحديثة المتأخرة. اقترح Richard Bambach الاسم الجذاب "فرضية غذاء البحر" (انظر Bambach، ١٩٧٣م) أو فكرة ذات علاقة بالطاقة أوجزها في الأصل Geerat Vermeij. في هذا السيناريو، ضُخَّتْ الطاقة الإضافية إلى الأنظمة البيئية الإيكولُجية البحرية بمدد إضافي من اليابسة، حينما غُطِّيَتْ لأول مرة بالنباتات المعرَّاة البذور المتقدمة ثم مغطَّاة البذور، داعمةً حيواناتٍ أكثر تعقيدًا وأنظمة بيئية إيكولُجية ذات تنوع عالٍ.

أقترح نسخة موسَّعة من هذه الطريقة في التفكير. تحدث معظم الإنتاجية الأولية (البناء الضوئي) في المياه السطحية للمحيطات، ويُرجَّح أن التقلب في إنتاجية المحيطات عبر الزمن كان بنفس أهمية المدد الإضافي الآتي من اليابسة. جادل Vermeij بأن التقلبات [التباينات] في المحتوى الغذائي الخاص بالمحيطات قد تكون هامة جدًّا. فكمثال، يمكن أن تكون المواد المغذية عالية جدًّا خلال فترات النشاط البركاني المُزداد، والتي تحدث عندما يزداد توسع قاع المحيط حينما تتباعد القارات. وفقًا لرأي Vermeij، ربما تكون هذه هي العلاقة بين تباعد القارات والتشعُّب التطوري، وربما تكون بنفس الأهمية تمامًا لإضافة أقاليم أو جَعْلِ البيئات أكثر انتظامًا واضطرادًا.

---

[1] القِوام: مادة تلتصق بها أو تتغذى عليها أو تتحرك فوقها أو بداخلها الكائنات الحية

الانقراض والانقراضات الجماعية الكبيرة

يحدث الانقراض طوال الوقت. لقد مات آخر بطريق مسافر متبقٍ في العالم _المسمى بمارثا_ بعمر عجوز في حديقة حيوانات كنتاكي في عام ١٩١٤م. هذا جعل نوعها رسميًّا _ Ectopistes migratorius _ منقرضًا، رغم أن نوعه قد حُكِمَ عليه بالإخفاق إيكولُجيًّا بالتأكيد عندما ماتت آخر طيور متزاوجة منه. يحدث الانقراض على كل المستويات، من المحلية إلى العالمية، ويحدث بمعدلات مختلفة في أزمنة مختلفة ومناطق مختلفة. بعض الأنواع لها مجموعاتٌ سكانية صغيرة تعتمد على مدى محدود بوجه خاص من الغذاء، أو الموطن، وتكون عرضة للتأذي حتى من إزعاج [أو اضطراب] إيكولُجي ذي مستوى صغير. بالتالي لا بد أن هناك فقدانًا ثابتًا لأنواعٍ _من خلال الانقراض_ من الغلاف [أو المحيط] الحيوي العالَمي. من آن إلى آخر _ربما من خلال الحظ السيء_ يكون أحد هذه الأنواع المنقرضة الأخير من فصيلته، وسيكون فقدان تلك الفصيلة ظاهرًا في تصنيف أو تجميع كالخاص بـ Sepkoski.

عاجلًا أم آجلًا، كل نوع متعرض لاحتمالية ما لأن يصير منقرضًا. فالانقراض هو المصير المتوقَّع للنوع، وليس حالة تحدث لأقلية من الأنواع. بالتأكيد، في عالمٍ ذي تنوعٍ ثابت تمامًا على مر الزمن، كانت الأنواع والفصائل الموجودة ستنقرض بقدر ما تتطور الأنواع والفصائل الجديدة. كنا سنتوقع _في حال كون كل شيء آخر كما نتوقعه_ فإن التنوع البيولُجي العالَمي سيكون على نحو نموذجي ثابتًا تمامًا، أو سيتقلب صعودًا أو نزولًا. هذا يبدو ما كان عليه الحال لفترات طويلة من دهر أشكال الحياة الظاهرة. رغم ذلك، فقد كانت هناك أزمنة انقراضٍ سريعٍ للغاية (الشكل البياني ٦- ١)، وهذه الأحداث تحتاج تفسيراتٍ. هل كانت هناك آلية انقراضٍ تعمل؟ ولو كان الأمر كذلك، فإننا نحتاج أن نحاول تحديدها. هل كانت الانقراضات الكبيرة مجرد أمثلة متطرفة قصوى لعمليات الانقراض الطبيعية (العادية)، أم كانت أحداثًا كارثيةً وغير عادية حقًّا؟

تتنوع أحداث الانقراضات في الحجم حقًّا. محَّصَ David Raup and Jack Sepkoski بياناتِ Sepkoski وحدَّدوا أحداث انقراضات كبيرةٍ بدرجة كافية وفجائية بدرجة كافية لأنْ تُدْعَى بالانقراضات الكبيرة أو الجماعية. يمكن للمرء أن ينتقد مناهجهم [وسائلهم] نقدًا طفيفًا، لكن تظل الحقيقة هي أن الانقراضات الكبيرة قد حدثت بالفعل وقد عُرِفَتْ على نحوٍ غير كَمِّيٍّ لعقودٍ. ويبدو أن تلك التاليات هي أكبر ست انقراضات:

- عند نهاية العصر الأوردوڤيتشي
- عند نهاية العهد الفراسني من العصر الديڤوني المتأخر.
- عند نهاية العصر البِرْمي (أو البرمي- الترياسي)
- عند نهاية العصر الترياسي
- عند نهاية العصر الطباشيري (أو العصر الطباشيري- الثلاثي [الثالث أوْ التِرْشِرِي: الفترة الأولى من حقبة الحياة الحديثة])
- الانقراض الحالي، والذي يحدث لا تظهر (بعد) في سجل المتحجرات.

هذه الانقراضات الست الكبرى _بطبيعتها_ حدثت سريعًا. فهي أحداث. رغم ذلك، فلا ينبغي أنها كلها كان لها نفس السبب، ومن الأفضل أن نحلل كل واحدة لوحدها قبل محاولة ملاءمتهن كلهن في نمط واحد.

شرح الانقراضات الكبرى

الانقراضات الكبيرة كانت ظواهر عالمية، لذلك يجب تفسيرها من خلال العمليات العالمية. أول ما يخطر على البال هو حركة طبقات القشرة الأرضية. رغم ذلك، فإن تغيرات حركات طبقات القشرة الأرضية بطيئة نسبيًّا من الناحية الجيولُجية، بينما تبرز الانقراضات الكبيرة لأنها فجائية نسبيًّا وبالمقارنة. إن كنا سنستعمل تفسيرات على أساس تحركات طبقات القشرة الأرضية، فسيكون علينا أن نقترح أن حركات معينة لطبقات القشرة الأرضية مع عمليات أخرى تُنشئُ زنادًا أو سببًا معقولًا والذي يُطلِق فجأةً "رصاصةَ انقراضٍ" قاتلة. إنه ليس واضحًا أن هناك أية رصاصة انقراض ذات صلة بحركات طبقات القشرة الأرضية، بالتالي يجب علينا أن ندرس على الأقل اقتراحاتٍ أكثرَ تطرفًا. بعض العوامل المُمْكِنة المعقولة للانقراضات العالمية هي:

– إخفاق أو قصور في الدورة المحيطية العادية يؤثر على كيميائية المحيطات بدرجة كافية للتسبب في تغيرات عالمية في المناخ والهواء [الغلاف الجوي]، أو

– تغير سريع في مستوى البحار يؤثر على الإيكولوجية والمناخ العالميين. أو

– انفجار بركاني هائل يؤثر على الإيكولوجية والمناخ العالميين. أو

– اصطدام من فوق الأرض [من خارجها] بكويكب يؤثر على الإيكولوجية والمناخ العالميين. أو

من بين هذه العوامل، تترك الانفجارات البركانية الهائلة وراءها كتلًا هائلة ضخمة من الصخور البركانية، لذلك يسهُل نسبيًا العثور عليها في سجل المتحجرات. والتغيرات العالمية في مستويات البحار تغيّر توزُّعَ الرواسب الموضوعة [المترسبة] على سطح الأرض. فطالما أن تغير مستوى سطح البحر يبقى لفترة طويلة على نحوٍ كافٍ ليترك خلفه هذا النوع من الأدلة، فسوف نقدر على العثور عليها. لكن قصور الدورة المحيطية في العادة يُتوقَّع أنْ يتركَ خلفه أدلة كيميائية دقيقة فقط، ويُرجَّح أن تكون قصيرة المدة، بالتالي قد يَصعُب العثورَ على الأدلة وتفسيرها. والاصطدام من خارج الأرض بكوكيب بطبيعته حدثٌ لحظيٌ قد يترك خلفه طبقة رقيقة فقط كدليل. وما لم نجد حفرةٍ [وَهْدة، هُوَّة]، أو دليلًا فريدًا ما يمكن أن يسبّبَه اصطدامٌ فقط، فقد يَصعُب جدًا التعرف على الاصطدام، خاصة في صخور أكثر قِدَمًا. بالنسبة لأغراض هذا الفصل، فإنه هامٌ أنْ نتذكر أن اصطدامًا ما بكوكيب كبير كفاية للتسبب في تأثير عالمي ينبغي أن يترك وراءه دليلًا فيزيائيًا مُمَيَّزًا. هناك ثلاثة أدلة رئيسية هي:

١– طبقة مُمَيَّزة أو بروز مسماري أو نصلي الشكل لعنصر الأيريديوم (Ir) iridium، والذي يوجد بوفرة أكبر في النيازك عما هو عليه في القشرة الأرضية.

٢– الرواجم الزجاجية أو التكتايت tektites وهي نقاط أو أجسام زجاجية ضئيلة من أصلٍ نيزكيٍ (كُرَيَّات زجاجية)، والتي تتكون حينما يرش النيزك أو الكويكب نقاطًا مُذابة من الصخر بسرعة عالية في الهواء.

٣– معدن المرو أو الكوارتز المصدوم هو بلورات كوارتز تتسم بتلف أو تضرر مُمَيَّز لا يمكن أن يسبب سوى موجات الاصطدام الشديدة.

في الوقت الحاضر، الفرضيات البارزة عن أسباب الانقراضات الستة الكبيرة هي:

– نهاية الأُرْدُوُڤِيشي:	المناخ (عصر جليدي)
– نهاية الديڤُوني (العهد الفراسني):	أزمة محيطية، أو ربما اصطدام كويكب
– نهاية العصر البِرْمي (أو البرمي– الترياسي)	انفجار بركاني هائل بالإضافة إلى اصطدام كويكب
– نهاية العصر الترياسي	انفجار بركاني كبير، ربما مع اصطدام كويكب
– نهاية العصر الطباشيري (الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي)	انفجار بركاني هائل بالإضافة إلى اصطدام كويكب
– الانقراض الحالي	الأنشطة البشرية

سوف أتناول الانقراض الحالي في الفصل ٢١. إن الانقراض الكبير الخاص بنهاية العصر الترياسي ليس له بيانات واضحة على نحوٍ يكفي لدراسته على نحو ملائم حتى هذه اللحظة (حسب رأيي على الأقل). سأناقش [أدرس] في هذا الفصل الانقراضات الأخرى، لكنْ سأترك القصة التفصيلية لانقراض العصر الطباشيري – التِرْشِري للفصل ١٦.

الانقراض الكبير بالعصر الأُرْدُوُڤِيشي

يبدو أن الانقراض الكبير الجماعي عند أو قرب نهاية العصر الأوردوڤيتشي متصل على نحو وثيق بتغيرٍ مناخي كبير. حدثت موجة أولى من الانقراض عندما بدأ عصرٌ ثلجيٌ كبير، وحدثت الثانية عندما انتهى. يعتقد بعض علماء المتحجرات وأشكال الحياة القديمة أننا عندما نجمع متحجراتٍ من مناطق أكثر من العالَم، فقد يتضح أن ذلك "الانقراض الكبير" كان حدثًا ثانويًا نسبيًا وبالمقارنة.

الانقراض الكبير في العصر الديڤُوني المتأخر (العهد الفراسني– الفامْني)

حدث انقراض كبير جماعي _على الأرجح كأحداث منفصلة عديدة_ عند الحد بين آخر عهدين من الصر الديڤوني، بين العهدين الفراسني والفامِني Frasnian and Famennian. لقد كان هناك انقراض كبير على مستوى العالم للشعاب المرجانية والمجموعات الحيوانية المترافقة معها، وتضررت الكثير من المجموعات الأخرى للحيوانات والنباتات بشدة أيضًا. تقترح الأدلة اصطدامًا بكويكب بالصين وأورُبا الغربية عند أو قرب الحد بين العهدين الفراسني والفامِني. رغم ذلك، فهناك أيضًا دلالات على تغيرات مناخية، وتغيرات كبيرة في مستويات البحار وكيميائية المحيطات، في نفس الوقت. تحولات نظير الكربون تدل على أن الإنتاجية العضوية العالمية كانت تتغير سريعًا قبل الحد [الفاصل التاريخي بين الفراسْني والفامْني].

فضَّل George McGhee سيناريو خاصًّا باصطدامٍ (انظر McGhee، ١٩٩٦). هناك تحذيران: أولًا، يتطلب الدليل الجيولُجي أن تكون قد كانت هناك اصطدامات عديدة متقاربة لكنها متوسطة الحجم خلال حوالي مليونين أو ثلاث ملايين من السنوات، عوضًا عن اصطدام واحد ضخم والذي يبدو أنه ما قد حدث عند الحد البرمي – الترياسي والحد الطباشيري – التِرْشِري؛ وثانيًا، فإن الأدلة ناقصة من جهة فهمنا للتوقيت، وجغرافيا العالَم في ذلك الزمن، وهناك صعوبات في المضي من الأدلة إلى تفسيرها. اقترح Kun Wang (انظر Wang والآخرين، ١٩٩٧م) أن الأنظمة البيئية الإيكولُجية كانت بالفعل مضغوطة مُرهَقة عندما حدث الاصطدام. لا يوجد "صنع سحر" لظاهرة الاصطدام عند حدوث حدث الانقراض، كما هو عليه الحال في انقراضي الحد البرمي–الترياسي والحد الطباشيري– التِرْشِري، وهذا يجعل حالة انقراض الحد الفراسْني–الفامْني يصعُب العملَ معها.

الانقراض الكبير في العصر البرمي– الترياسي

الانقراض الذي حدث عند ٢٥٠ مليون سنة ماضية _عند نهاية العصر البِرمي_ هو الأكبر عبر كل زمن [تاريخ] الكوكب، وهو "أم الانقرضات الكبيرة أو الجماعية" كما وصفه Douglas Erwin. شعر Erwin أنه مضطر لاقتراح فرضية "تعدد الأسباب" أو بتعبير أدبي تشبيهي "جريمة قتل على السفينة Orient Express" لتفسير انقراض العصر البرمي–الترياسي؛ أي أن عوامل عديدة _كلها عاملة معًا_ أدت إلى الانقراض. هذه ليست فرضية صالحة أو "نظيفة" بوجه خاص لتصلح للقبول أو الاختبار. إن لدينا حاليًّا أبحاث عشر سنوات أخرى، قام بها Erwin وآخرون، ونستطيع القيام بما هو أفضل.

لقد ميَّزَ واستعملَ John Phillips انقراضَ العصر البرمي–الترياسي منذ ١٥٠ سنة ماضية لتحديد نهاية حقبة أشكال الحياة القديمة وبداية حقبة أشكال الحياة الوسطى (الشكل ٦– ٢). ما يُقدَّر بـ٥٧% من كل الفصائل و٩٥% من كل أنواع الحيوانات البحرية انقرضت. لقد ضُرِبَت الحياة الحيوانية الخاصة بحقبة أشكال الحياة القديمة بشدة جدًّا، فاقدةً على وجه الخصوص [لأغلب] المتغذيات على العوالق وللمفترسات، ولكل ساكنات الشعاب تقريبًا. إن انقراض العصر البرمي–الترياسي حدث رئيسي بارز ونقطة تحول في تاريخ الحياة على كوكب الأرض، خاصةً بالنسبة للحياة في المحيطات، إن انقراض العصر الطباشيري–التِرْشِري أو الثلاثي صغير بالمقارنة به (الشكل ٦– ١).

لقد كان انقراض العصر البرمي–الترياسي سريعًا، حدثَ على الأرجح في أقل من مليون سنة. ورغم أنه كان أكثر شدةً بكثيرٍ في المحيطات، فقد أضر بالأنظمة البيئية الإيكولُجية البرية أيضًا. إن مجموعة حياة حيوانية لمستنقعٍ خصبٍ في نصف الكرة الجنوبي كانت تنتِج كتلًا وبقايا عضويةً كافيةً لتكوين فحم في أستراليا، لكن طبقات الفحم توقفت عن التكون فجأةً عند الحد البرمي–الترياسي. لم يُكَوَّن ويوضَع أي فحمٍ في أي مكانٍ في العالم لستة ملايين من السنوات على الأقل بعد ذلك. يوجد تغير كبير في نظائر الكربون في الحد البرمي–الترياسي، مما يدل على انخفاض كبير هام وعالمي في عملية البناء الضوئي.

تزامن انقراض العصر البرمي مع أكبر انفجار بركاني معروف في تاريخ كوكب الأرض. فبالإضافة إلى تحركات طبقات القشرة الأرضية، فإن للأرض أيضًا تحركات للانبثاقات أو التصعدات الصهارية[1]. من حين إلى آخر، يُطلِق حَدَثٌ عند الحد بين لُبّ الأرض وغلاف نواة الأرض[2] دفقًا ضخمًا هائلًا من

---

١ بقع الوشاح الساخنة: انبثاقات قِطْرِية ترتفع بشكل أعمدة من باطن الأرض مندفعة نحو سطح الأرض وهي متطايرة مكوِّنةً بِنْيةً ريشية

٢ غلاف نواة الأرض أو نطاق الأرض الأوسط، وشاح الأرض، البُرْنُس، الغِلالة، البطانة: وهو بطّانية صخرية أرضية وهي النطاق أو الجزء من الأرض الذي يقع بين قشرة الأرض ولب الأرض، ويتكون من مواد فوق قاعدية، وبالتحديد يقع هذا الجزء في داخل الأرض بين عمق ٣٥ إلى ٢٩٠٠ كلم، ويتكون وشاح الأرض من وشاح علوي ووشاح سفلي مع منطقة انتقالية بينهما، ويعتقد أن الوشاح يتكون من المعادن الحديدية المغنيسية

السخونة صاعدًا باتجاه سطح الأرض كعمود انبثاق صهاري. بينما يقترب عمود الانبثاق الصهاري من السطح، يُذيبُ العمودُ القشرة الأرضيةَ ليُنشئ رأسًا مُسطَّحًا من من الصهارة أو الحمم البازلتية التي يمكن أن تكون بقُطر ١٠٠٠ كم وسُمْك ١٠٠ كم. مخترقًا القشرةَ الأرضيةَ، يُسبب عمود الصهارة انفجارات بركانية هائلة تضخ مئات الآلاف من الكيلومترات المكعبة من البازلت على سطح الأرض، وهو ما يُعرَف ببازلت الفَيْضاتِ [أو سهول البازلت أو هضاب أو سطيحات البازلت]. إن اندفع عمود صهارة من خلال [القشرة الأرضية لـ] قارة، فإنه يُطلِق مادةً في الهواء [الغلاف الجوي] أيضًا. بعدما انبثق رأس العمود الصهاري، استمر الذيل الأضيق بكثير في الانبثاق لمدة مئة مليون سنة، لكن الآن فإن تأثيره أكثر محليةً، مؤثرًا فقط على حوالي مئة كيلومتر من الأرض حيث يُكَوِّن نقطة [أو بقعة] ساخنة طويلة الأمد من النشاط البركاني.

إن أحداث اندفاقات بقع الوشاح الساخنة الصهارية نادرة؛ فقد كان هناك ثماني اندفاقات وشاحية صهارية ضخمة في آخر ٢٥٠ مليون سنة ماضية. أحدثها هو الانبثاق الوشاح المعروف بالصخر الأصفر Yellowstone، والذي اخترق القشرة الأرضية عند حوالي ١٧ مليون عام ماضٍ ليُكَوِّن حقولًا حُمَمِيّة ضخمة[١]، والتي تُعرف الآنَ باسم الهضاب البازليتة الكولُمبية في أوريجَنْ Oregon وواشنطُن في أمِركا، والتي تُرَى على أفضل نحوٍ في خور [أو وادي أو أخدود] نهر كولُمبيا. انجرفت قارة أمِركا الشمالية باتجاه الغرب فوق هذه البقعة الساخنة، والتي استمرت في الدفق لتُكَوِّنَ الصخورَ البركانيةَ لسهل نهر سنيك [أو نهر الثعبان Snake River] في ولاية Idaho آيْدَاوْ (وادي القمر Valley of the Moon وغيره)، وهي الآن تقع تحت الصخر الأصفر للحديقة الوطنية National Park. إن البقعة الساخنة موسمية تمامًا في العصر الحالي، مع نشاط نبعِ ماءٍ حارٍّ [حَمَّة أو فوَّارة]، بدلًا من تدفق بركاني نشِط، لكنها سبَّبَتْ انفجاراتٍ بركانية هائلة ضخمة عند حوالي ٥٠٠ ألف سنة ماضية والتي أطلقت الرمادَ فوق معظم جبال الولايات المتحدة وفي كندا.

لقد حدث انفجار صهاري وشاحي عمودي ضخم عند زمن الحد البِرْمي–الترياسي. حيث اندفع عمود صهاري وشاحي جديد عبر القشرة الأرضية فيما هو الآن سيبيريا الغربية ليُكوِّن "محابس أو حواجز البترول السيبرية"[٢]، وهي فيضات بازلتية ضخمة تغطي ٤ ملايين كيلومتر مربع مساحةً، وربما ٢ إلى ٣ ملايين كيلومتر مربع حجمًا. تتزامن الاندفاقات بالضبط مع زمن الحد البِرْمي–الترياسي، عند حوالي ٢٥٠ مليون سنة ماضية، واستمر بشدة تامة لمدة حوالي مليون سنة فقط، وهي أكبر وأشد اندفاقات [انفجارات] معروفة في تاريخ كوكب الأرض.

يوجد ظن _خاصة بين علماء الفيزياء_ أننا لو استطعنا البرهنة على حدث كارثة فيزيائية عند حد زمني، فإننا يكون لدينا تفسير تلقائي أوتوماتيكي لانقراضٍ. رغم ذلك، ينبغي الجدال على الصلة على نحوٍ مُقنِعٍ، وليس مجرد الافتراض أو الزعم والتأكيد. رغم ما قيل، فإن الانقراض البرمي–الترياسي هو الأكبر في تاريخ كوكب الأرض، وكذلك كان انبثاق محابس البترول السيبيرية.

سيناريو الانفجار البركاني لتفسير الانقراض

في عام ١٩٩٥، اقترح Paul Renne وزملاؤه سيناريو يقوم على أساس الانبثاق الصهاري الوشاحي العمودي كسبب أساسي للانقراض. ارتفع عمود الصهارة الوشاحية باتجاه السطح وتدفق. برَّدت الكمية الهائلة من ذريرات الكبريتات[٣] المناخَ بدرجةٍ كافيةٍ لتُكَوِّنَ قبعاتٍ أو قلنسواتٍ جليدية [فوق قمم الجبال]، على نحو سريع بالفعل، وهذا بدوره تسبب في انخفاض سريع حقًّا في مستويات أسطح البحار مع التبرُّد العالمي، مبكرًا في متتالية الأحداث الانفجارية. كنا لنتوقع أن نجد في سجل الصخور تغيراتٍ في نظائر الكربون والكبريت، وإننا نجد ذلك بالفعل. علاوة على ذلك، حينما تدفق عمود الصهارة الوشاحي، رَفَعَتْ الصهارةُ [أو الحممُ] الطافيةُ القشرةَ الأرضيةَ، ربما على نحوٍ كافٍ لتكوين أساسٍ أرضي لصفائح [أو أغطية] الجليد القاريّة الكبيرة التي نمت في خطوط العرض العالية. آخر الأمر، عندما انتهى تدفق عمود الصهار، هبطت القشرة الأرضية وتبددت الأدخنة، مما أدى إلى نهاية سريعة للتجلد الذي سبَّبَه النشاطُ البركانيُّ، وتغير سريع آخر في المناخ. يُحتمَل _ولو أن هذا لم يُحسَب بعد_ أن الغازات البركانية التي كانت قد تراكمت أثناء التدفق أمكن أن يكون لها تأثير صوبة زجاجية [حبس للحرارة] لزمن ما بعدما انتهى تدفق عمود الصهارة الوشاحي، محوِّلًا من التجلد نتاج النشاط البركاني إلى حالة الدفيئة أو الصوبة الزجاجية [حالة الاحتباس الحراري] نتاج النشاط البركاني.

---

١ الحقول الحممية: مساحات مميزة ومغطاة بالتدفقات الحممية أو انسيابات اللافا

٢ المصايد أو المحابس أو الأشراك: صخور مسامية محاطة بصخور غير نفاذة أوْ بِنْية جيولوجية مناسبة تسبب تعويقاً لسريان البترول وحجزه في هيئة مستودعات طبيعية. وعامة أي حاجز أو عائق صخري لحركة الزيت أو الغاز الصاعدة، مما يسمح بتراكم أحدهما أو كليهما.

٣ الذُرَيْرات أو الترذيذ أو الهباء الجوي: ذريرات صلبة أوْ سائلة يحملها الهواء. جسيمات متناهية في الصغر من مادة سائلة أوْ جامدة معلقة في غاز أوْ في هواء

يضاف إلى هذا السيناريو النتائج "العادية" لانفجار بركاني ضخم، كالمطر الحمضي، واستنزاف الأوزون، ودفق كمية ضخمة من ثاني أكسيد الكربون في الهواء، أو أي توليفة مما سبق، وبذلك العناصر المسببة لانقراض كبير مُعَدَّة.

رغم أنه يسهُل تصور أن تدفقًا بركانيًا ضخمًا ربما قد سبَّبَ كارثةً عند الحد البرمي–الترياسي، فإنه ليس مؤكدًا أنه تسبب فيها. إننا لا نعلم كم الغبار والدخان والذريرات[1] التي أُنْتِجَتْ، رغم أن معرفة تلك العوامل بدقة تامة حاسمة بالتأكيد لحسابات تأثيراتها [نتائجها]. إننا لا نعلم إلى أي مدى حُمِلَت الذريرات [الهباء الجوي] والغبار الجوي في الغلاف الجوي العلوي [الزمهريري] فوق كوكب الأرض، ولا التأثيرات التي كانت لها تفصيليًا. كمثال، يمكن أن يساعِد الغبار والذريرات في الهواء على امتصاص الحرارة الشمسية عوضًا عن أن يعكسها، وتقترح بعض النماذج أن أجزاء من الأرض دُفِئَت، وأخرى بَرَدَتْ، وأجزاء أخرى ظلت بنفس درجة الحرارة تقريبًا.

فلنختصر سريعًا أكثر سيناريوهات الانقراض البركاني إقناعًا. حتى كارثة قصيرة المدة بين النباتات البرية وعوالق أسطح البحار كانت ستضر بشدة بسلاسل الغذاء الطبيعية. كانت الحيوانات الكبيرة الحجم ستكون عرضة للتأذي بنقص الغذاء، ويبدو انقراضهن بعد كارثة طبيعية معقولًا. وفي المحيطات، كانت ستعاني اللافقاريات العائشة في الماء الضحل بدرجة كبيرة من البرد أو الصقيع [التجمد]، أو ربما من الحرارة التي يتسبب فيها CO2. كانت المجموعات الحيوانية والنباتية في خطوط العرض المرتفعة على وجه الخصوص متكيفة من قَبْلُ مع ظلام الشتاء، رغم أنها ربما لم تكن متكيفة مع البرد الشديد. بالتالي، فلعل مستعمَرات الشعاب الاستوائية قد دُمِّرَت [أُهْلِكَتْ]، لكن مستعمَرات خطوط العرض العالية قد نجت على نحوٍ أفضل.

هذه الأنماط العامة ملاحَظة عند الحد البِرْمي–الترياسي، رغم أن مجموعات الحياة النباتية الخاصة بخطوط العرض العالية قد تضررت على نحو أسوأ مما كان المرء ليتوقعَه. في عام ١٩٩٦م، قدَّم Henk Visscher وزملاؤه تقريرًا عن وفرة شديدة في الخلايا الفِطْريّة المتحجرة في رواسب اليابسة عند الحد أو التُخْم البِرمِي–الترياسي، وقد اكْتُشِفَ هذا أيضًا في جمهورية جنوب أفريقيا أيضًا. هناك إلماعات [لمحات] إلى أن "الطبقة" الغنية بالفطريات هي سجل لأزمة فريدة شاملة على مستوى العالَم، تزامن معها تحليل الفطريات للكميات الضخمة من النباتات التي كانت قد أُبِيدَتْ بفعل الكارثة الطبيعية (حيث لم تكن هناك أَرَضَةٌ). تلك الطبقة من الفطريات فريدة في السجل الجيولُجي للخمسمئة مليون عام الماضية. تقترح أفضل الأدلة التي لدينا أنه قد كانت هناك انقراضات جماعية كبيرة بين متعريات البذور، في أورُبا وبين مجموعات الحياة النباتية المُنشِئة لطبقات الفحم في جنوبي الكرة الأرضية. لقد بدت النباتات الخاصة بالعصر الترياسي المبكر في أوربا كالأعشاب الضارة، أي أنها كانت تتوسع في المواطن المكشوفة.

تحذيرات بصدد التفسير بالانفجارات البركانية

معظم الانفجارات [أو التدفقات] البركانية لا تُسَبِّبُ بالضرورة كوارثَ طبيعيةً. كمثال، دمَّرَ انفجار بركان جزيرة كُرَاكاتو Krakatau في عام ١٨٨٣م كلَّ أشكال الحياة على الجزيرة، وأضر بشدة بكل الأنظمة البيئية الإيكولُجية [الاعتياشية] لمئات من الأميال فيما حولها. لكن تلك الأنظمة البيئية الإيكولُجية تعافت واستُعِيدَتْ بالكامل في خلال مئة سنة، وهو زمن ضئيل من الناحية الجيولُجية. لا توجد انقراضات في أمِركا الشمالية تتزامن مع التدفقات الانفجارية من الحفرة البركانية أو المنخفض البركاني للوادي الطويل Long Valley[2]، ولا من بحيرة الفوهة البركانية في Oregon بأمِركا، ولا من منطقة الحجارة الصفراء Yellowstone، وكلٌّ منها أطلقت الرمادَ لمسافةٍ حتى كندا خلال الملايين السابقة من السنوات. وإن التدفقات العمودية الوشاحية الكبيرة الأخرى غير ذات صلة بانقراضاتٍ؛ وتتضمن الأمثلةُ الفيضات البازلتية لمنطقة Karroo في جمهورية جنوب أفريقيا من العصر الجوارسي، والهضاب أو الفيضات البازلتية في كولُمبيا من عصر المَيُوسين [العصر الحديث الوسيط].

رغم ذلك، ينبغي أن يحذَرَ المرءُ من صرف النظر عن التفسيرات بالكوارث الطبيعية لأن الأحداث الصغيرة لا تُسبِّبُ الكوارث. ربما كان هناك تأثير الحد اللازم للبداية أو النِصاب؛ أي أنه لو لم يكن الحدث كبيرًا كفايةً فلن يؤدي إلى شيء، أما لو كان كبيرًا على نحوٍ كافٍ فسوف يؤدي إلى كل شيء.

---

١ الذُرَيْرَات أو الترذيذ أو الهباء الجوي: ذريرات صلبة أوْ سائلة يحملها الهواء. جسيمات متناهية في الصغر من مادة سائلة أوْ جامدة معلقة في غاز أوْ في هواء

٢ المنخفض البركاني caldera: فوَّهة أوْ حوض كبير متسع لمنخفض بركاني مستدير الشكل تقريباً، وَقطره يساوي على الأقل ثلاثة أضعاف عمقه أوْ ما يشمله من عنق أوْ مجموعات أنبوبية بركانية وجوانب شديدة الإنحدار ودون الأخذ بشكل القاع. ونشأت الكلْديرا بسبب نسف البركان وانهيار داخلي لقمته السابقة أثناء أحد إنفجاراته القوية اللاحقة وقد يصل قطر الكالديرا لعشرة كليومترات أوْ أكثر

انفجاران بركانيان فقط في آخر ٥٠٠ مليون سنة كانا ذوا صلة بانقراضين كبيرين جماعيين، عند التخم البرمي–الترياسي وعند التخم الطباشيري–التِرْشِري (انظر الفصل ١٦). فهل هناك عنصرٌ آخرُ ما مُتَطَلَّبٌ؟

تفسيرات بديلة لنظرية الانفجار البركاني

اقترح Andrew Knoll وزملاؤه في عام ١٩٩٦م أن الانقراض سبَّبَه انقلابٌ كارثيٌّ لمحيطٍ مشبَع على نحو فوق الطبيعي بثاني أكسيد الكربون. هذا أدى إلى إزالة غازات ضخمة وشبه فورية والتي سحبت سحابة من ثاني أكسيد الكربون (الكثيف) فوق سطح المحيط والمناطق الساحلية المنخفضة. ربما ما يشبه هذا هو كارثة تفريغ الغاز من بحيرة Nyos في عام ١٩٨٦م في الكاميرون، حيث صُرِع مئاتٌ من الناس موتى عندما فارت أطنان من ثاني أكسيد الكربون من البحيرة البركانية وانحدرت إلى الأودية المجاورة. الاختلاف هو أن كارثة العصر البرمي–الترياسي المقترَحة كانت عالمية.

وفقًا لهذا السيناريو، فإن زيادة ثاني أكسيد الكربون نتجت عن جغرافيا العالَم [في ذلك الزمن]. كانت كل "القارّات" متجمعةً معًا في القارة الأم أو الكبرى بانْجِيَا Pangea [يعني اسمها كل الأرض]، أما ثلثا العالَم الآخَران فكانا مُغطَّيان بالمحيط الكبير الأم، المعروف بأبي المحيطات أو Panthalassa [المحيط البحري العالميِ الأول الذي يعتقد أنه كان يحيط بأمّ القارات بانجيا، ويعتقد أنه تحول إلى المحيطات الحالية بتباعد القارات وإنسياقها أَوْ إنجراف الكتل الناشئة عن ذلك]. خمَّنَ Knoll وزملاؤه أن المياه المحيطية العميقة في أبي المحيطات Panthalassa تحولت إلى كتلةٍ منزوعةِ الأُكْسُجِنْ مُحمَّلةٍ بثاني أكسيد الكربون المذاب والميثان وكبريتيد الهيدروجين. عند مرحلة ما، أصبحت مياه السطح كثيفةً بدرجة كافية لتغطس، مُسَبِّبةً كارثةً طبيعيةً عندما أُصْعِدت المياهُ المُشبَعة بثاني أكسيد الكربون إلى السطح، مزيلة الغازَ بعنفٍ. أدَّى الحدثُ إلى تسخين بالاحتباس الحراري [كتأثير الصوبة الزجاجية] وتدفئة كبيرة للمناخ.

إنه ليس واضحًا أن تدفق عمود وشاحي بركاني يمكن أن يُطلِق هذا النوعَ من انقلاب المحيط، رغم أن اصطدامًا بكويكب كان يمكنه ذلك.

اقترح Geerat Vermeij and Dan Dorritie (انظر Knoll et al، ١٩٨٦م) بدلًا من ذلك أن إطلاق غاز الميثان كان يمكنه أن يسبب نفس النتائج تقريبًا، بدون الحاجة لتلك الكمية المتراكمة المفترَضة من ثاني أكسيد الكربون في أبي المحيطات Panthalassa. في العصر الحالي، تتراكم هيدرات الميثان [ماءات الميثان، الميثان المُحتبَس في شكلٍ شبيهٍ بالهلام] في الرواسب على طول الأرفف القاريّة[1]، وتحت سهول التندرة في القطب الشمالي[2]. كان يمكن لثورات منطقة الحجارة حابسة البترول السيبيرية أن تحث على تحريره. (ولقد قُدِّمَت لاحقًا تقارير عن أدلة أخرى على إطلاق الميثان عند التُخْم البرمي–الترياسي.)

في عام ١٩٩٨م قدَّمَ Samuel Bowring وزملاؤه تقريرًا بأن نظير الكربون الشاذ عند التخم البرمي– الترياسي في جنوب الصين كان قصير العمر جيولجيًّا للغاية، عاش لعمر ١٦٥٠٠٠ عام تقريبًا فقط. هذا يقترح زيادة كارثية كبيرة للكربون الغير ناتج عن البناء الضوئي إلى المحيط (ويمكن أن نقول زيادة في الميثان)، وليس مجرد نقص في الإمداد بالكربون العضوي.

وجد Greg Retallack وزملاؤه (انظر Retallack et al., 1999) دليلًا في أستراليا على تدفئة احتباس حراري مُطوَّلة [طويلة الأمد] عند التُخم البرمي–ترياسي بالضبط. تقترح العديد من الأدلة [أو المؤشرات] الخاصة بالمناخ القديم نفس الأمر، مما يتضمن ويدل على أن دور ثاني أكسيد الكربون _أو الميثان_ كان رابطًا حيويًّا بين الكوارث البيئية والانقراضات. يمكن أن تكون غازات الاحتباس الحراري [تأثير الصوبة الزجاجية] في الغلاف الجوي قد زادتها الانفجارات البركانية، و/أو الانقلاب المحيطي، و/ أو إطلاق هيدرات الميثان، وكان هذا سيُزَاد شِدَّةً ويطول أمدُه لو أُبيدَتْ النباتات على مستوى

---

١ الرف أو الرصيف أو الجرف القاري: جزء غاطس من قارّة يبدأ من خط الساحل ويمتد إلى أول تغير ملحوظ في ميْل قاع المحيط، ينحدر تدريجياً بزاوية ٠,١ درجة من الشاطئ إلى أن يهوي فجأة. ويكون مغموراً تحت المياه الضحلة على عمق أقل من ٢٠٠ متر، ويميل بميْل طفيف، وارتفاعه أقل من ١٨,٣ متراً، وَيتراوح عرضه من ضيق جداً إلى أكثر من ٣٢١,٨ كيلومترًا

٢ سهول التندرة: سهول فسيحة ذات تربة متصقعة متجمدة وأشجار قزمة.

العالَم. فكانت مجموعات الحياة النباتية على مستوى العالَم والعوالق المعتاشة في المحيط ستحتاج أن تتعافى وتُستَرَدَ قبل أن يُمكِن سحب ثاني أكسيد الكربون وتخفيض نسبته من الغلاف الجوي [الهواء].

سيناريو الاصطدام بكويكب لتفسير الانقراض

تغير كامل النقاش حول انقراض العصر البِرْمي–الترياسي على نحوٍ دراميّ [دراماتيكيًّا] بينما كنت أكتب هذا الفصل. ففي عام ٢٠٠٣، قدَّم Asish Basu وزملاؤه تقريرًا عن أدلة مُقنِعة على اصطدام كوكيب كبير عند زمن التُخم البِرْمي–الترياسي بالضبط. لقد عُرِفَتْ إلماعاتٌ عن اصطدام كوكيبٍ في العصر البرمي–الترياسي من قَبْلُ، لكن الأدلة الجديدة حاسمة. وجد الفريقُ قِطَعًا من الحجارة النيزكية في طبقات الصخور عند الحد البرمي–الترياسي بالضبط في القارة القطبية الجنوبية. تحتوي نفس هذه الطبقة [الطُبَيْقة، الأساس bed] على كوارتز [أو معدن مَرْوٍ] مصدوم أو متضرّر لكن بدون مادة الأيريديوم. يُعثَر على شظايا معدنية غير معتادة عبارة عن حديد نقي تقريبًا في طبقات القطب الجنوبي [من العصر البرمي–الترياسي] وكذلك عند طبقات الحد البرمي–الترياسي في الصين واليابان. وكما سوف نرى في الفصل ١٦، فإن نفس هذا النوع من الأدلة يُرَى عند الحد الطباشيري–التِرْشِري أو الثلاثي، وإن يكن بوفرة أكثر لأنه أحدث ومحفوظ على نحو أفضل. وبما أن الدليل من الحد البرمي–الترياسي عالمي على نحو جوهري، فلا بد أن النيزك الذي تسبب به كان كويكبًا صغيرًا، وكان الاصطدام الحادث عند اصطدامه بالأرض هائلًا.

نعتقد أننا نفهم الاصطداماتِ والانفجاراتِ جيدًا حقًّا، بعد الدراسات المباشرة لسطح القمر، والمسح بالتصوير للأسطح المليئة بفوهات البراكين على الكواكب والأقمار، وخبرتنا مع التفجيرات [أو القذائف] النووية. إننا نعلم أيضًا أن الكويكبات تصطدم بالأرض على نحوٍ متكرر نسبيًّا. يمكن رؤية وهدة أو حفرة Meteor في أريزونا، ووهدة Manicouagan في كَنَدا، وعدد لا حصر له من حُفَر الاصطدامات من الصور المأخوذة جويًّا.

بعض التوقعات العامة لنظرية اصطدام الكويكب واضحة ويمكن استعمالها كاختبارات غير مباشرة لمصداقيتها. يُتوقَّع أن اصطدام كويكب كبير أطار كميةً ضخمة من الصخور المتبخرة والبخار عاليًا فوق الغلاف الجوي، مُكوِّنًا سحابةً ترابية كثيفةً والذي انقشع عن الغلاف الجوي بعد فترة أسابيع أو ربما شهور أو سنين عديدة. يُتوقَّع أن الانفجار والسحابة نشرا مواد الكويكب على مستوى العالَم. لقد نوقِش هذا السيناريو بتوسعٍ لأن نتائج مشابهة يمكن أن تنتج عن حربٍ نووية حرارية، وهو ما يُعرَف بالشتاء النووي أو على الأقل الخريف النووي. لكن النماذج الواقعية لا تزال غير متاحة[١]، وبعض النقاش على الأقل متحيز لجهة أو أخرى لأن الموضوع هام سياسيًّا.

هاكم أحد سيناريوهات الاصطدام المحتمَلة: حجب الغبار والدخان والذريرات[٢] أشعةَ الشمس لأسابيعَ أو شهورٍ، بحيث لم تستطع النباتات البرية والعوالق الطحلبية في المحيط من القيام بعملية البناء الضوئي. تسبب الغبار أيضًا في درجات حرارة متجمدة للهواء لأيامٍ بعد الاصطدام، وحافظ عليها أقل من التجمد لأسابيع أو حتى شهور. ربما لا يكون هذا وضعًا غير معتاد عند القطبين، وربما لا يكون مشكلة لكائنٍ متعضٍّ يعيش في أعماق المحيط، لكنه كارثة للكائنات المتعضية التي تعيش على الكتل الأرضية القاريّة.

لاحقًا، حالما انقشع الغبار والذريرات، تسببت الكمية الهائلة من بخار الماء وCO_2 التي أُطْلِقَتْ في الغلاف الجوي بفعل الصدمة في إحداث تأثير الصوبة الزجاجية [الاحتباس الحراري] والذي رفع درجاتِ الحرارة على كوكب الأرض لألف عامٍ أو أكثر.

أكثر سيناريوهات اصطدام الكويكب شِدَّةً يمكن تسميته بصيف الموجات الكهرومغناطيسية القصيرة [الصيف الميكرويفي] لأنه يتناقض للغاية مع الشتاء النووي [ومع الشتاء والبرودة المُسبَّبة بفعل السيناريو السابق]. لقد صاغه Jay Melosh وزملاؤه في عام ١٩٩٠. وفقًا لهذا السيناريو، فإن بعض المواد المُخرَجة في اصدامٍ كويكبٍ كبيرٍ جدًّا طارت إلى الأعلى بسرعة أكبر من سرعة الهروب الخاصة بالأرض[٣]، رغم أن معظمها ارتدت إلى الغلاف الجوي بمسارات منحنيات قذيفية بعد زمنِ رحلةٍ استغرقت حوالي ساعة.

---

١ وعساها لا تصير متاحة أبدًا، والموضوع هام عسكريًّا ويتعلق بمصير مستقبل البشرية_المترجم

٢ الذريرات أو الهباء الجوي: ذريرات صلبة أوْ سائلة يحملها الهواء. جسيمات متناهية في الصغر من مادة سائلة أوْ جامدة معلقة في غاز أوْ في هواء]

١ سرعة الهروب أو الإفلات: هي الحد الأدنى من السرعة اللازمة للهروب أو الإفلات من حقل الجاذبية الخاص بجُرْمٍ ما

يمكن أن يحسب المرءُ كمية الإشعاع الحراري التي يُفترَض أن كتلة الحتات أو الأكدار المقذوفة أطلقتها بينما تدخل من جديد إلى الغلاف الجوي. تقترح البيانات عن الأسلحة النووية أن النبض الإشعاعي من الغبار الساقط كانت ستكون ألفَ ضِعفِ ما يكفي لإشعال غابات جافّة.

ينتشر إشعاع المقذوفات مع الوقت، لكن هذا لا يحدث في حالة نبض إشعاعي سبَّبَته قنبلة هيدروجينية. رغم قولنا هذا، فعندما نحسُبُ هذا التأثيرَ، فإن معدلات الإشعاع على مستوى العالَم يُفترَض أنها كانت ما بين ٣٠ إلى ١٠٠ ضِعْفِ الإشعاع الخاص بشروق الشمس، في شكل حرارة في الدرجة الأولى وعلى نحوٍ مهيمِنٍ.

بالتأكيد، فإن نصف الإشعاع وُجِّه إلى الأعلى إلى الفضاء، والبعض امتصه بخارُ الماء في الغلاف الجوي وCO_2. رغم ذلك، فقد وصل الثلثُ إلى سطح الأرض. كان الأمر سيحتاج إلى معظم الإشعاع لتبخير سحابة كثيفة، والتي كانت حينئذٍ لتحمي سطحَ الأرضِ تحتها إلى حدٍّ كبيرٍ. إن سحابة خفيفة _أو انعدامها_ كانت ستعطي وقايةً قليلة أو لا تعطي وقايةً. بالتالي، قدَّرَ Melosh وزملاؤه حرارة سطح الأرض بتشبيهها بحرارة فرن مضبوط على وضع الشواء.

عمومًا، يُستلْزَم أن تكون درجة حرارة سطح الأرض ٤٥٤° لكي تشتعل الأشجار تلقائيًا، ولا يمكن أن يكون الإشعاع قد تسبب في هذا على مستوىً عالميٍّ. لكن الغازات المتطايرة التي ستطلقها الأشجار الساخنة ستشتعل بعد ٢٠ دقيقة عند درجة حرارة ٣٨٠°، والتي هي متوفرة في هذا السيناريو. حتى تباينات محلية في كم الإشعاع المُتَلقَّى كانت ستكفي لبدء اشتعال النيران.

في ما قد يكون أغرب سيناريوهات "ماذا لو؟" إن وصل سطح المحيط المداري إلى درجة حرارة ٥٠°، فإن الأعاصير الضخمة كانت ستمتص ثلجًا وغبارًا وتُطَيِّرهم إلى الغلاف الجوي الأعلى [أو الزمهريري]، حاجبةً ضوءَ الشمس بشدةٍ أكثر ومدمِّرةً طبقةَ الأوزون!

كارثة العصر البِرْمي–الترياسي

نعلم الآنَ أن أكبر الانقراضات في سجل المتحجرات وهو انقراض العصر البرمي–الترياسي، وكذلك انقراض العصر الطباشيري–التِرْشِري أو الثلاثي، حدثا كلاهما في زمنٍ تزامن فيه اصطدامٌ بكويكبٍ مع انفجارٍ صهاري وشاحي عمودي. هذا لا يمكن أن يكون صدفةً، وهذا يُغيِّر البرهانَ بدرجةٍ كبيرةٍ. لا أحدَ متعقِّل يمكن أن يشك في أن الحدَثين المتلازمين لا بد أن يكونا قد سبَّبا الانقراضين الكبيرين. لكنَ هناك سؤالين مهمين:

أولًا، لماذا تكوُن مصادفةً؟ الانفجارات الصهارية الوشاحية العمودية هي أحداثٌ نادرة، وكذلك الاصطدامات بكويكبات كبيرة. لا أحد سيقترح أن انفجارًا صهاريًا وشاحيًا عموديًا يجذِب على نحوٍ ما كويكبًا للاصطدام، لكنْ هل يمكن أن يُطلِق اصطدامُ كويكبٍ انفجارًا صهاريًّا وشاحيًّا عموديًّا، ولو كان الأمر كذلك، فكيف؟ سأخمِّن أن اصطدام كويكبٍ كبيرٍ يمكن أن يتزامن مع انفجار صهاري وشاحي عمودي فقط لو أن الانفجار [أو التدفق] كان مجَّهَزًا ومعبَّأً بكيفيةٍ ما، جاهزًا للانفجا أيضًا في جميع الأحوال؛ إن الاصطدام عمل ببساطة كمحفِّزٍ لتقديمِ تاريخ الانفجار [لجعله أبكر زمنيًّا]. أبكر إلى أي حدٍّ؟ أمليون سنة؟

إننا نعلم بالفعل أن الزلازل الكبيرة يمكن لها أن تسبِّبَ تأثيراتٍ مذهلة على الكتل السائلة الضحلة التي على بعد آلاف الأميال منها؛ وآبار المياه خصوصًا عُرضةٌ للاضطراب، حتى لو كان الزلزال بعيدًا للغاية بحيث لا يُشعَر به. إن زلزال ألاسكا الكبير في عام ٢٠٠٢م حطَّم وأغرق قواربَ في لويزيانا، وزلازل كاليفورنيا أطلقت ينابيع ساخنة في منطقة Yellowstone. هل يمكن أن يَحُثَّ اصطدامُ كويكبٍ انفجارًا صهاريًّا وشاحيًّا كان سيحدث في جميع الحالات في خلال المليون سنة التالية أو نحو ذلك؟

ثانيًا، كيف تعمل الكارثتان المزدوجتان بالضبط إيكولُجيًّا بما يتسبب في الانقراضات؟ إن الانقراضات على نحو واضح ليس شاملة، لأن الكثير للغاية من الكائنات المُتعضِّية نجت. لكنْ كيف (ومتى) نجا الناجون؟

لحسن الحظ، لدينا الآن حدثان لدراستهما. إن انقراض العصر البرمي–ترياسي متقدم زمنيًا عن انقراض العصر الطباشيري–الترْشِري أو الثلاثي، لكنه أكبر بكثير. إن لدينا بالفعل كمية ضخمة من البيانات لدراستها في ظل الاكتشافات الجديدة، وينبغي أن أبحاث البضع سنوات القادمة ستكون مثيرة. وعلى وجه الخصوص، هل يمكن أن يكون انقراضٌ جماعي صغير _عند نهاية العصر الترياسي_ كان استجابةً صغيرةً للحدث الخاص بالعصر البرمي–الترياسي؟

التشعبات التطورية

تنشأ أنواع جديدة طوال الوقت، تمامًا كما تنقرض أنواع طوال الوقت. من آن إلى آخر نستطيع أن ننظر إلى الخلف في سجل المتحجرات ونرى نوعًا مُحْدَثًا مُعيَّنًا كان الأول من مجموعة ناجحة جدًّا نحددها كفصيلة. بالتالي يكون ظهور النوع حدثًا سيظهر بوضوح في تصنيف على غرار تصنيف Sepkoski للتنوع العالمي للفصائل. وكما شرحنا آنفًا، ففي الفترات "العاديّة" من تاريخ كوكب الأرض كانت تظهر فيها فصائل جديدة تتوازن تقريبًا مع الأنواع الأقدم التي انقرضت.

رغم ذلك، فتمامًا مثل الانقراضات، هناك أزمنة ظهرت فيها فصائلُ جديدةٌ أكثر بكثيرٍ من التي انقرضت، بحيث نرى ارتفاعًا شديدًا في التنوع [الانتواع]. تُدعى هذه الأحداثُ بالتشعبات التطورية، وهذا الاسم ذو مغزى لأن المرء كثيرًا ما يستطيع تحديد فروعٍ تطورية دخلت في [أو اتخذت] أسلوب حياةٍ جديد وتطورت إلى فصائل عديدة أو حتى كثيرة. بسبب هذا، فإن فهم تفاصيل أو خصائص التشعبات الفردية أسهل من فهم تفاصيل الانقراضات الفردية. التشعبات تكون تطورية، بينما الانقراضات تكون على الأرجح نتاجَ كوارثٍ.

هذه أحد الأفكار الرئيسية التي يستطيع المرء فهمها عن التشعبات. إن التشعب كان استجابة لوجود فرصة [أو كُوَّةً أو فراغ بيئي، دور اعتياشي]. فإذن ما نوع الفرص الذي سيطْلِق تشعبًا كبيرًا للغاية بحيث يظهر بوضوح في تصنيفٍ للتنوع العالمي؟ يمكنني أن أتصور ثلاثة [ضروبٍ]:

١– الانقراضات الكبيرة: بطبيعتها، فإن الانقراضات الكبيرة تزيل الكثيرَ من الكائنات المتعضية من المحيط الأحيائي. إن كان الانقراض الكبير بسبب كارثة فيزيقية كبيرة حادثة مرةٍ واحدة (كالتدفق الحممي الوشاحي العمودي، واصطدام كويكب)، فإن العالَم الفيزيقي سوف يتعافى سريعًا ويعود إلى الحال "الطبيعية"، إلا أنه سيكون لـه بيولُجية تفتقد عناصرَ رئيسيةً. يقدِّم هذا الوضعُ فرصةً كبيرةً للكائنات المتعضِّية الناجية لتتطورَ لتشغَل هذه الفراغات الإيكولُجيّة. لن يكون للقادمين الجدد نفسُ التركيب التشريحي، ولن يعيدوا تطوير نفس سمات السابقين عليهم المنقرضين، لذلك يُرجَّح أن نرى موجةً من الجِدَّة [أي الحداثة] التطورية تجتاح العالَمَ.

تتضمن الأمثلة الواضحة تشعبَ الحياة الحيوانية الحديثة بعد انقراض العصر البرْمي–الترياسي، وتشعب الثدييات البريّة بعد انقراض معظم الديناصورات عند حدوث انقراض العصر الطباشيري–الترِشِري (انظر الفصل ١٧)، وتشعبَيْ الخفافيش والحيتان بعد انقراض معظم الزواحف الطائرة والسابحة، أيضًا عند حدوث انقراض العصر الطباشيري–الترْشِري أو الثلاثي.

اقتُرِحَت تلك الاستعادات أو التعافيات البيولُجية الإيكولُجيّة كمجالٍ بحثيٍّ مفيد. وإنها لكذلك، لكنها لن تقدم لنا أي مبادئ أساسية لا نعرفها بالفعل من قَبْلُ. إن التعافيات من الانقراضات الكبيرة هي نتائج للانقراضات، والتي أتاحت الفرصة اللازمة.

يمكن للمرء أن يقولَ أن الانقراضات الكبيرة تزيل تأثير شغل المناصب [أو طرق الاعتياش]. هذه الصورة القوية يسهُل فهمها بتشبيها بحال وضع الأمرِكيين الذين يعيشون في نظام سياسي يصعُب فيه إزالة نوابٍ ممثلين للشعب منتخَبين لعضوية الكونجرس [مجلس الشعب، الهيئة التشريعية الأمرِكِيّة] عن مناصبهم، حالما يُنتخَبون، رغم أن العملية الانتخابية عامّةٌ مفتوحةٌ وديمُقراطية. السبب هو أن شاغل المنصب صار لـه اسم معروف، وصار يمتلك الكثير من السُلطة والنفوذ والقدرة على الحصول على المال، في حين أن أيَّ منافسٍ محتمَلٍ مستقبليٍّ في العادة لا يملك ذلك.

يَعمَل تأثيرُ شَغْلِ المنصِب في البيولُجِي أيضًا. إن أيَّ نوعٍ يكون متكيّفًا جيدًا مع بيئته الطبيعية، فقد تطور في تلك البيئة، وقد حَسَّنَ وصقل الانتخاب الطبيعي تكيفاتِه لكي ينجح هناك فيها. أي نوع جديد مجتاح [محتل] سيكون على الأرجح أقلَّ حسنَ ملاءَمةٍ لتلك البيئة. عندما يتغلغل ويَعُمُّ تأثيرُ شَغْلِ

المناصب المستعمَراتِ وكذلك الأقاليم، فإن الأنظمة البيئيّة الإيكولُجيّة تكون في العادة مستقرَّة لفترات زمنية طويلة. لكنْ تمامًا مثلما يمكن للأعاصير أن تحطم غابةً محليّةً وتسمح للأعشاب بالازدهار، أو تبيد كائنات جزيرة وطيئة قريبة من مستوى سطح الأرض والتي لا بد أن يُعاد استيطانُها، فكذلك الكوارث كالانقراضات الكبيرة يمكن أن تزيل شاغلي مناصب أو وظائف بيئية وطرق اعتياش وتسمح للناجين بالحلول محلَّهم تحت الشمس. بقدر ما قد تكون الانقراضات الجماعية الكبيرة مخيفة، فمن الناحية العالَمية هي تمنح الكائناتِ الناجية فرصةً للتجدد التطوري الكبير.

٢- اجتياح موطن جديد: يَعمل التطورُ عن طريق الانتخاب الطبيعي، مما يعني ضمنيًّا الاختبارَ المستمِرَّ للطفرات الجديدة في مواجهة البيئة. بعض الكائنات المتعضية دائمًا ما تنجح في ذلك، ومن آن إلى آخر يطوِّر خطٌّ تحدُّرٍ تخطيطًا جسديًّا يُمكِّنه من اجتياح موطن جديد ربما قد كان متاحًا منذ زمن طويل، لكنه لم يكن قد استُغِلَ. فإن نجح، فإن ذلك الخط التحدري سيتوسع إلى تشعبٍ كفروع تطورية فرعية "تستكشف" طرق الاعتياش المختلفة المُمكِنة في ذلك الموطن الجديد. تتضمن الأمثلةُ الواضحةُ أوائل النباتات البريّة وأوائل الحيوانات البريّة (انظر الفصلين ٨ و٩)، وأوائل الحيوانات الطائرة (انظر الفصل ١٣).

هذا النوع من الفرص يوجد على الأرجح على كل المستويات. عندما تصل الحيوانات البرية مثلًا إلى قارّة أو جزيرة معزولة و"خالية" بيولُجيًّا [إيكولُجيًّا] فإنها تتنوع هناك. من الأمثلة الواضحة على ذلك جِرابيّات أستراليا وثدييات أمِركا الجنوبية خلال حقبة الحياة الحديثة [السينوزية Cenozoic] (انظر الفصل ١٨)، وغَنيٌّ عن الذِكْرِ زواحف وطيور أرخبيل جُزُر جلاجابوس التي ألهمت تشارلز دارونْ للغاية.

٣- الابتكارات أو التطورات الجديدة: من آنٍ إلى آخر يطور خطٌّ تحدريٌّ تخطيطًا جسديًّا يمكِّنه من فعل أمورٍ لم يقم بها كائنٌ متعضٍّ من قبلُ. فإن نجح (في حال كان التوقيت والوضع الإيكولُجيُّ ملائمين)، فإن ذلك الخط التحدري سيتوسع إلى تشعبٍ كفروع تطورية فرعية "تستكشف" الطرق المختلفة لاستغلال ذلك الاختراع. تتضمن الأمثلةُ الواضحة أوائلَ حقيقيات الأنوية (راجع الفصل الثالث)، والحيوانات البَعْدِيّة أو الميتازويّة المبكِّرة (انظر الفصلين ٤ و٥)، والمجموعات العديدة التي طورت أدواتٍ للطيران (انظر الفصل ١٣). وكلٌّ من الديناصورات (الفصل ١٢) و(في آخر الأمر) الثدييات طورت حرارة الدماء والأطراف المنتصِبة التي مكَّنَتْها من أن تحيا نمطَ حياةٍ نشيطٍ جدًّا على اليابسة. طورت الخفافيش والحيتان السونار [الموجات الصوتية لاستكشاف الأشياء]، وطور البَشَرانِيُّون [أسلاف البشر وأشباههم ذوو القرابة] القدرةَ على صنع الأدوات.... يمكنني أن أمضي في الشرح لصفحاتٍ، ولكني سأقوم بذلك في الفصول المُشار إليها آنفًا.

الفصل السابع

الفقاريّات المبكرة

تهيمن الفقاريات على اليابسة والماء والهواء في العصر الحالي بطرق اعتياشٍ تجمع بين القدرة على الحركة والحجم الكبير (أكثر من بضع جرامات). المفصليات فقط (الحشرات على اليابسة والقشريّات في البحار) تقترب في المنافسة على هذه الكُوَّات [أو الفراغات أو الأدوار] الإيكولُجيّة. وباعتبارنا فقاريّات نحن أنفسنا، فإن لدينا اهتمامًا خصوصيًّا بالتاريخ التطوري لنوعنا ولأسلافنا البعيدين. إنه ليس مدهِشًا البتّةَ أن الفقاريّات ينبغي أن تنال معالجة خصوصية في هذا الكتاب وكل كتاب آخَر تقريبًا عن تاريخ الحياة.

إنه لأسهلُ علينا أن ننتمي إلى الفقاريات أكثر من أن ننتمي إلى اللافقاريات. نستطيع أن نفهم كيف تعمل الأربطة والعضلات والعظام. إننا نتغذّى باستعمال فكوكنا وأسناننا. نمتلك جِلدًا ذا إحساس وبصرًا جيّدًا، ونشعر بالذبذبات الصوتية في آذانا. إننا نمشي ونجري ونسبَح. نمتلك إحساسات [أو استشعارات] جسدية حيث نقوم بتنظيم حرارة أجسادنا، ونفهم من خلال الخبرة النظامَ [أو الجهازَ] العجيبَ الذي نمتلكه للحصول على الأُكْسِجِنْ وتدويره داخل الجسد. كل الفقاريّات تتشارك بعضًا من هذه الأنظمة [أو الأجهزة]، وكثير من الفقاريّات تمتلكها كلها. على النقيض، فإن معظم اللافقاريّات تمتلك أجهزةً جسدية مختلفةً كلّيًّا يصعُب علينا أن ننتمي إليها وأن نفهمها.

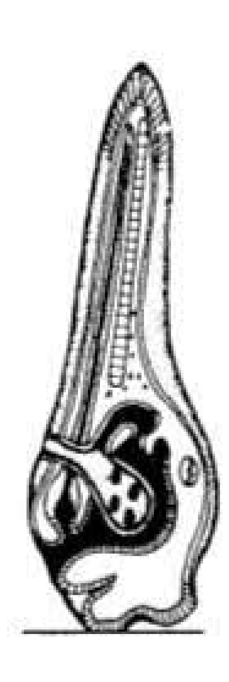
إن اعتيادنا على بيولُجيَّة الفقاريّات تساعدنا على تعويض ندرة متحجرات الفقاريات. إن الفقاريات نادرة حتى في العصر الحالي مقارنةً بالمفصليّات أو الرَخَويّات. والفقاريات تمتلك أجزاءً صلبة تتماسك مع بعضها فقط عن طريق الجلد والعضلات والغضاريف والأربطة التي تتعفن بسهولة بعد الموت. حتى العظام تتفتت وتتحلل بسهولة شديدة حالما تفقد المادة العضوية التي كانت تتخلَّلها أثناء الحياة. الفقاريات البرية على وجه الخصوص تعيش في موطن يوفِّر فرصة ضئيلة للحفظ. فالعظام تُبَعْثَر وتُحَطَّم بدلًا من أن تدفنها وتحميها الرواسب. فقط الاهتمام الخصوصي بالفقاريات الذي يُبديه جامعو المتحجرات المتخصصون والهواة على السواء عوَّض ويُعوِّض عن الندرة الطبيعية لحفظ الفقاريات. في الوقت الحالي نمتلك فكرة جيدة جدًّا عن الأحداث الرئيسية في تاريخ الفقاريات. (أما تفسيرها فهو مسألة أخرى !!!).

أصل ونشأة الفقاريّات

لا بد أن الفقاريات قد تطورت من لافقاريات، والتي هي أبسط في البُنيَة ولها سجلُ متحجراتٍ أطول. الفقاريات _بالتأكيد_ تمتلك عمودًا فقريًّا، وهو عمود يحتوي على قناة عصبية وحبل شوكي. الحبل الشوكي بنية متخصصة تبدو مثل قضيب صَلْب مُكوَّن من أنسجة كثيفة. إن الحبل الشوكي صفة أكثر أساسية من العمود الفقري الذي يحيط به. فهو [الحبل الشوكي] سمة متشارَكة مشتَقَّة تضع الفقاريات في تصنيف شعبة الحَبْلِيَّات Chordata، إلى جانب بعض الكائنات الحية ليّنة الأجساد التي تمتلك حبلًا شوكيًّا لكنها لا تمتلك رأسًا ولا هيكلًا عظميًّا.

باستخدام صلابة الحبل الشوكي، فإن كائنًا حبليًّا بدون عمود فقري يستطيع أن يوفر لعضلاته قاعدة ثابتة ليسحب نفسَه ضد اتجاه المياه، بينما يحتفظ بمرونة كافية لتمكينه من الدفع ضد اتجاه المياه لأجْل سباحة كفؤة. يستطيع الحبل الشوكي تخزين طاقة نتيجة صفة المطاطية أو المرونة الخاصة به والتي تُطلَق في اللحظة المناسبة للمساعدة على السباحة. أعتقد أن تطور الحبل الشوكي، مع هذه الآلية لتخزين الطاقة وإطلاقها، هي الجِدَّة [أو الحداثة] التطوريّة التي عزَّزَتْ نجاحَ الحبليّات ليِّنة الأجساد. ولقد سبقت تطور الهيكل العظمي الخاص بالفقاري المعتاد بوقتٍ طويلٍ.

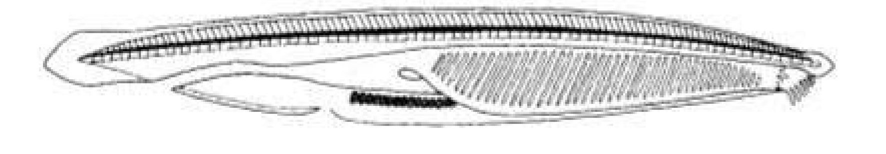
إن الحبليات الذيلية والحبليات الرأسية مجموعتان حَيَّتان من الحبليات طرية الأجساد واللتان تساعدنا على معرفة ما قد يكون قد بدا عليه سلف الفقاريات. تتضمن الحبلياتُ الذيلية المُغَلَّفاتِ tunicates (البخّاخاتِ البحرية)، وهي كائنات شبيهة الشكل بالصندوق ويعشن في مرحلة البلوغ في مستعمَرات مثبَّتة إلى قيعان البحار. لكن يرقاتها يسبحن بنشاط، باستخدام الحبل الشوكي وألياف عضلية في بنية [أو تركيب] شبيه بالذيل والتي تُفقَد عندما يستقررن على قاع البحر كبالغات (الشكل ٧– ١). إن البخّاخات من نوع *Ciona* قد فُكَّ تسلسل جينومها بالكامل، وإن جينومها مشابه جدًّا للجينوم الخاص بالفقاريَّات، لكنه أبسط.



الشكل ٧– ١ يرقة الحبليّ الذيليّ لها حبل شوكي وتسبح بحُرّيّة. بعد وقت قصير تلتصق بقاع البحر، كما هو مبيَّن هنا، وتتحول إلى بالغة تبدو أشبه بإسفنج أكثر من حبلي معتاد. إن البالغة هي كائن متغذٍ بترشيح الطعام من الماء، متصل بقاع البحر مباشرةً بدون ساق وعديم التحرك.

أما الحبليات الرأسيّة (الشكل ٧– ٢) فهي كائنات بحريّة تتغذّى على الجسيمات من ماء البحر المضخوخ عبر تجويف جسدي خاص والذي يُستعمَل أيضًا للتنفس. إن الحبل الشوكي يمتد على طول المحور الظهريّ ويُحاط بحِزَم عضلاتٍ جسدية منظَّمة في شكل شرائط على شكل رقم ٧ العربي أو حرف V. تثني الانقباضاتُ المتعاقِبةُ للحِزَم العضلية جسدَ الكائن من جانب إلى آخر في نمط شبيه بالتموج أو الرفرفة والذي يُمَكِّنه من السباحة. تُحدِّد الأعضاءُ الحسية في الطرف الأمامي للحبل الشوكي موقعَ مخٍّ بدائي. في معظم هذه الصفات، فإن الحبليات الرأسيّة شبيهة للغاية بالسمك، حتى بالنسبة لنمط الألياف العضلية المتخذ شكل ٧ والذي يبدو واضحًا للغاية عندما يُشرِّح المرءُ سمكةً بعناية في معمل أو مطعم.

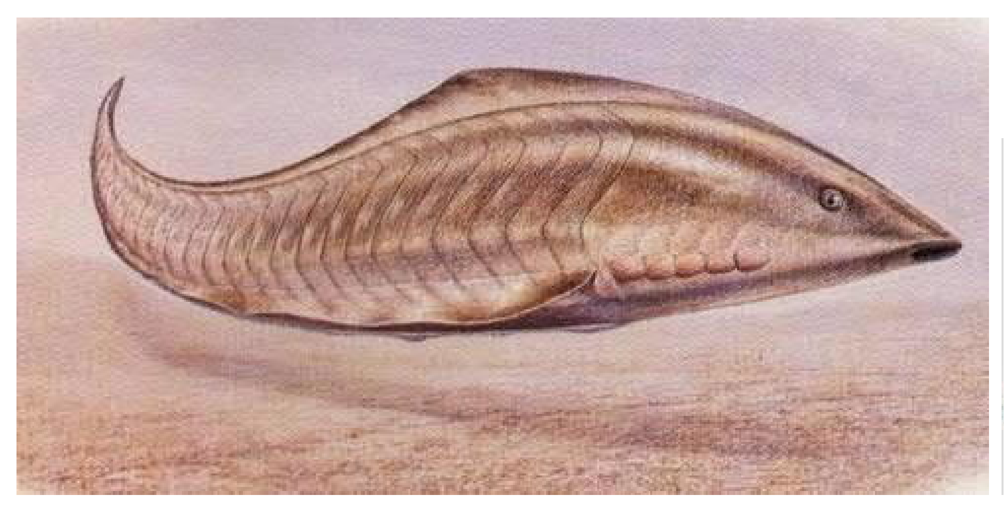
إن خيشومي الفم Branchiostoma، أو الرُمَيح amphioxus (الصورة ٧– ٢) حبلي رأسي تقليدي. يعيش ويتحرك بين حبات الرمل وفي المياه المفتوحة، متلوّيًا وسابحًا في نمطٍ شبيه بالخاص بسمكة الأنقليس باستعمال حزمه العضلية والحبل الشوكي متحركين أحدهما مقابل الآخر.

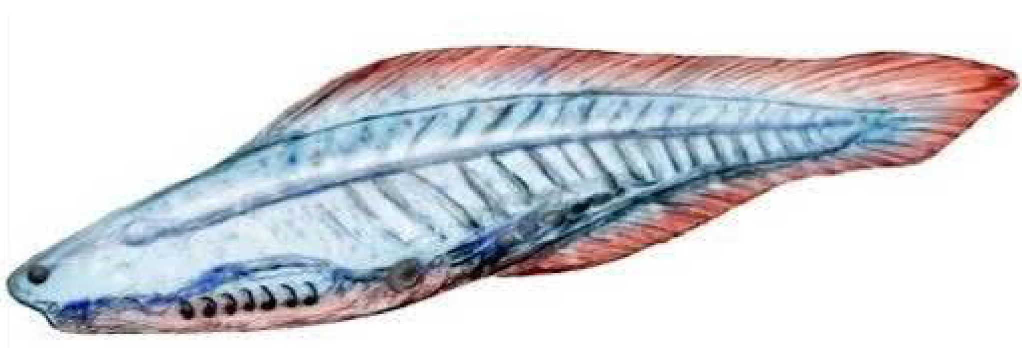




الشكل ٧– ٢ خيشومي الفم Branchiostoma، أو الرُمَيْح amphioxus or lancelet، من الحبليات الرأسية.

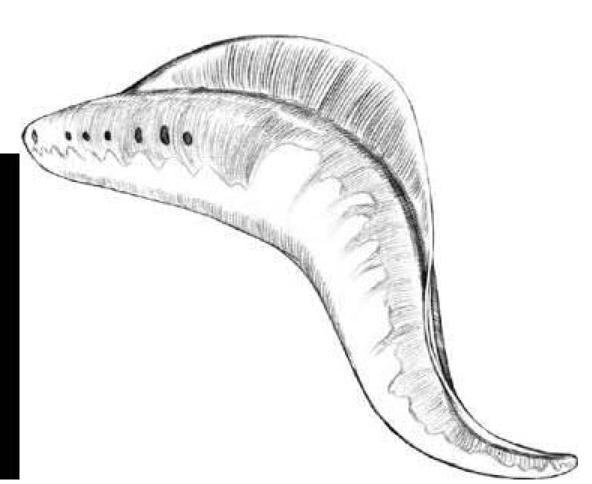
هذه الحيوانات الحية طرية الأجساد، لذا فقد بدا قديمًا أنه غير مرجَّح جدًّا أننا سنجد أبدًا دليلًا حفريًّا لتحديد أي مجموعة منهما كان منها سلف الفقاريات، إن كان ينتمي إلى أي منهما. بدايةً، فإننا نتعلم الكثير بدراسة "التطور في علاقته بالتنمِّي الجنيني evo–devo" [دراسة التنمي الجنيني المتعلق بالتطور]، وهو التفاعل بين الجينات والتنمي الجنيني، في بخاخات البحر الحية والحبليات الرأسية والأسماك البسيطة. ولدينا كنز مكتشَف جديد من متحجرات الكائنات طرية الأجساد من مجموعة الحياة الحيوانية لمنطقة Chengjiang من العصر الكامبري الأدنى [الأبكر] من الصين، ولعله أكثر أهمية لأنه دليل من الزمن ذي الصلة في تاريخ كوكب الأرض بدلًا من أن يكون دليلًا من الحيوانات الحية. وتتضمن حبليًّا رأسيًّا، وبخاخ ماء، وحيوانًا ذا فم ثانوي عمومًا. وهناك كائن ذو رأس واضح، وبالتالي فهو من القرنيوميات أو الرأسيات [شعبة من الحبليات تتميز بوجود القرنيوم أي صندوق المخ]، مما يجعله بالتالي سمكة أوليّة [بدائية] (الصورة ٧– ٣). وفقًا لذلك فقد سُمِّيَ *Haikouichthys* [معنى الاسم السمكة التي من هايكو، وهي مدينة في إقليم Hainan الصيني]. لا يخفي الجدل الكثير حول تفسير [طبيعة] هذه الكائنات حقيقةَ أننا سنمتلك قريبًا جدًّا إعادة بناء تفصيلية موثَّقة معقولة مقنِعة للتطور باتجاه أوائل الفقاريات. وبالتأكيد يقينًا أن لدينا مخطَّط شجرة تطورية لعلاقاتها (الشكل ٧– ٣).

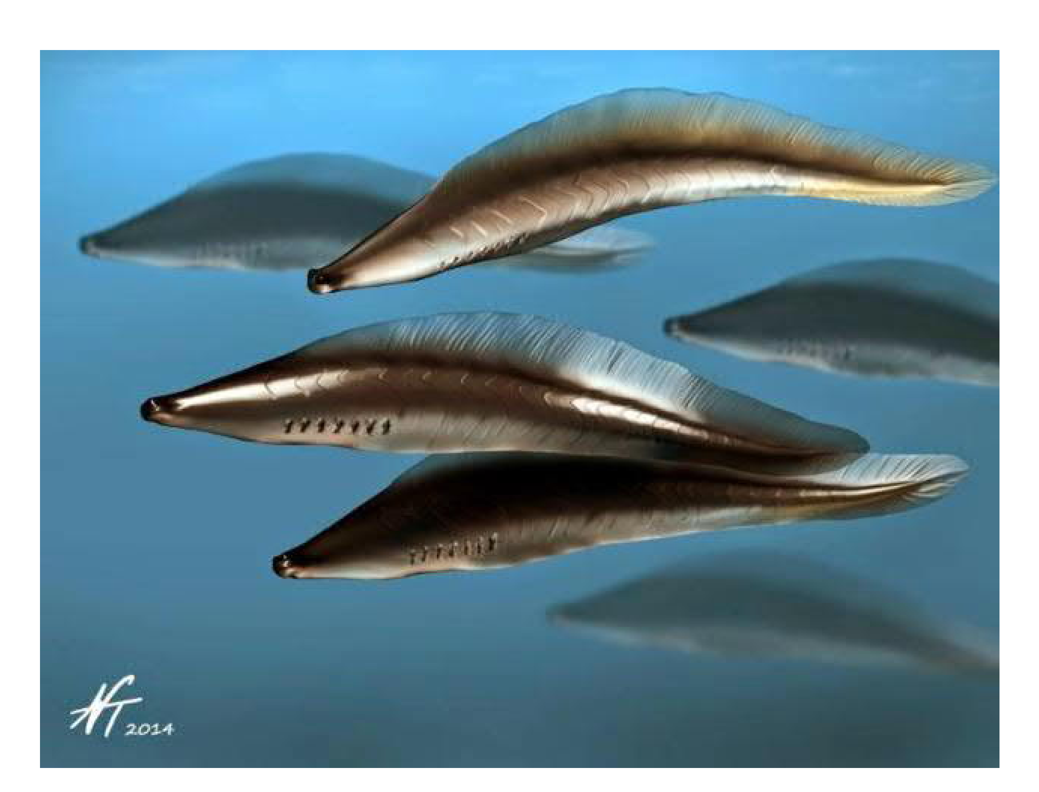




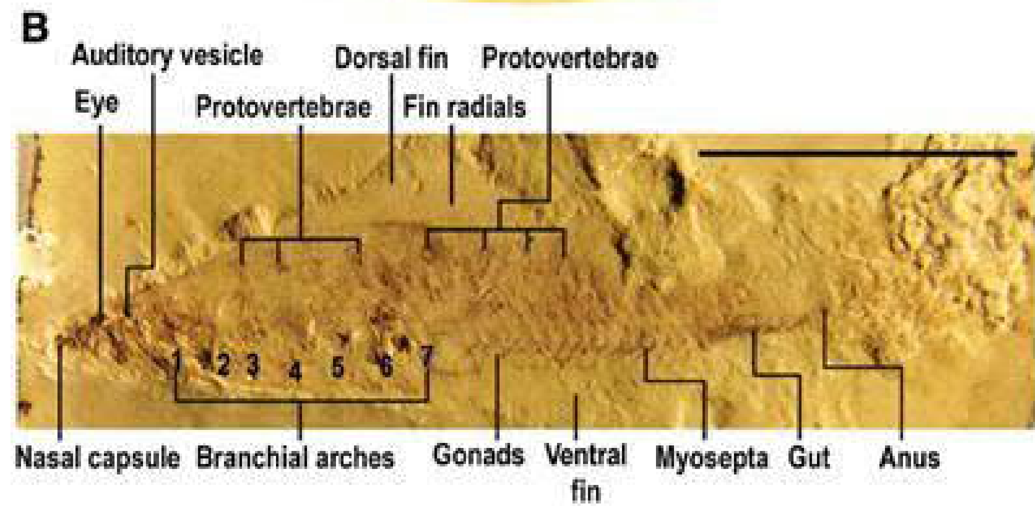


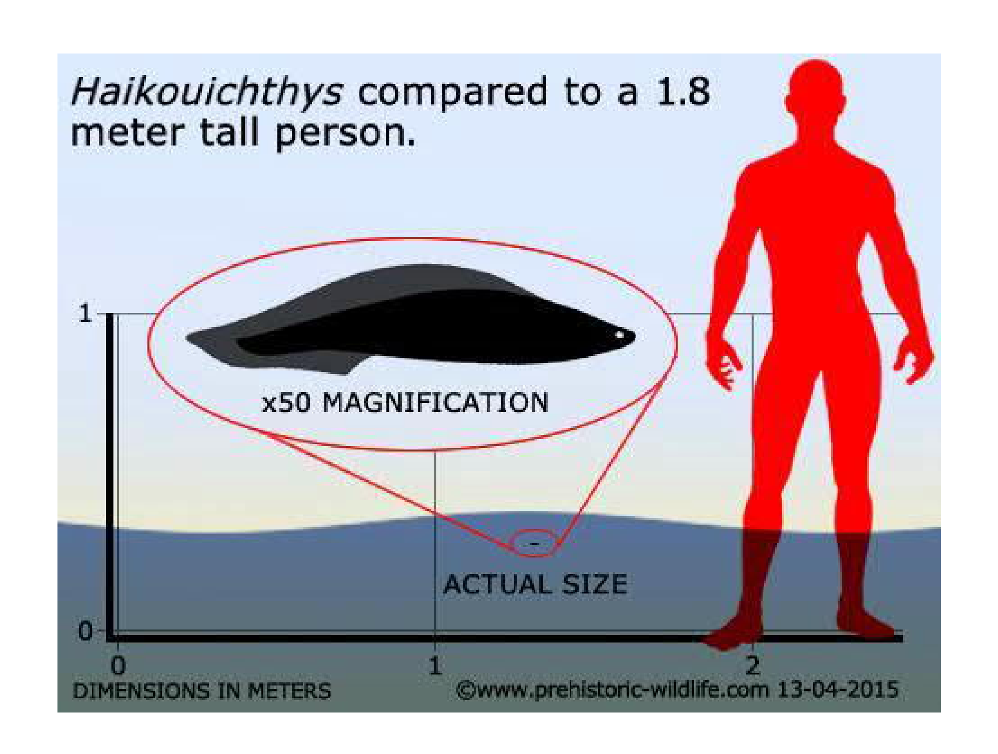


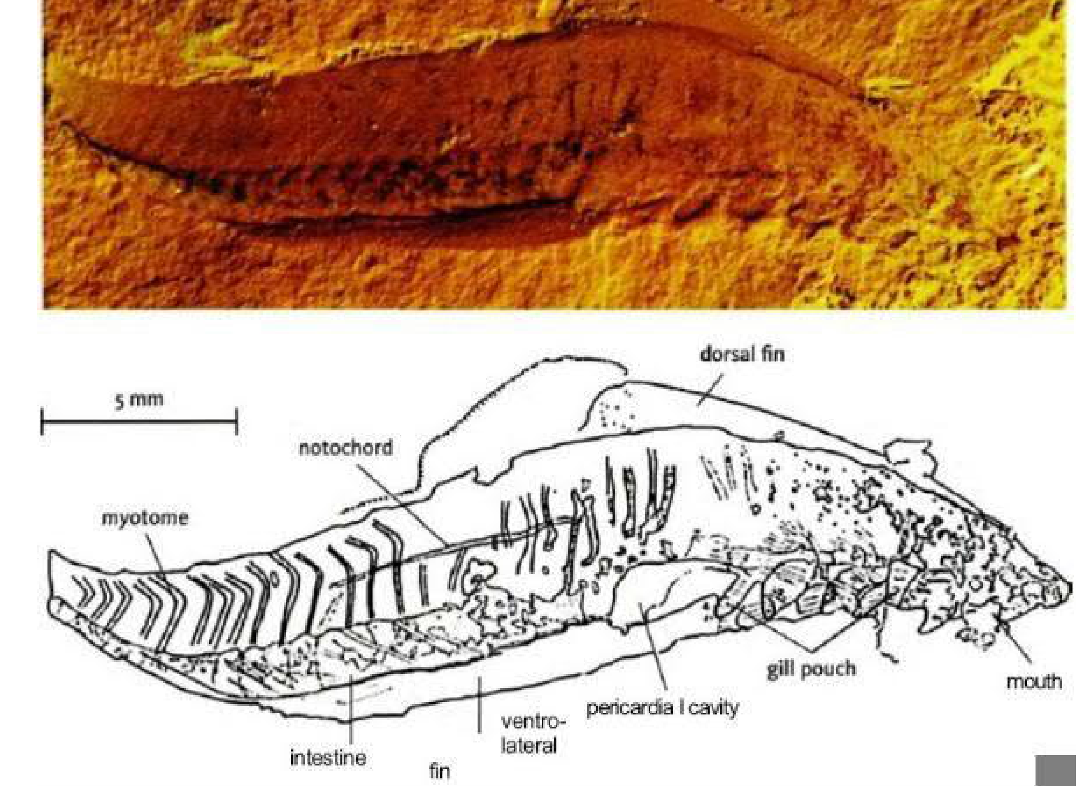


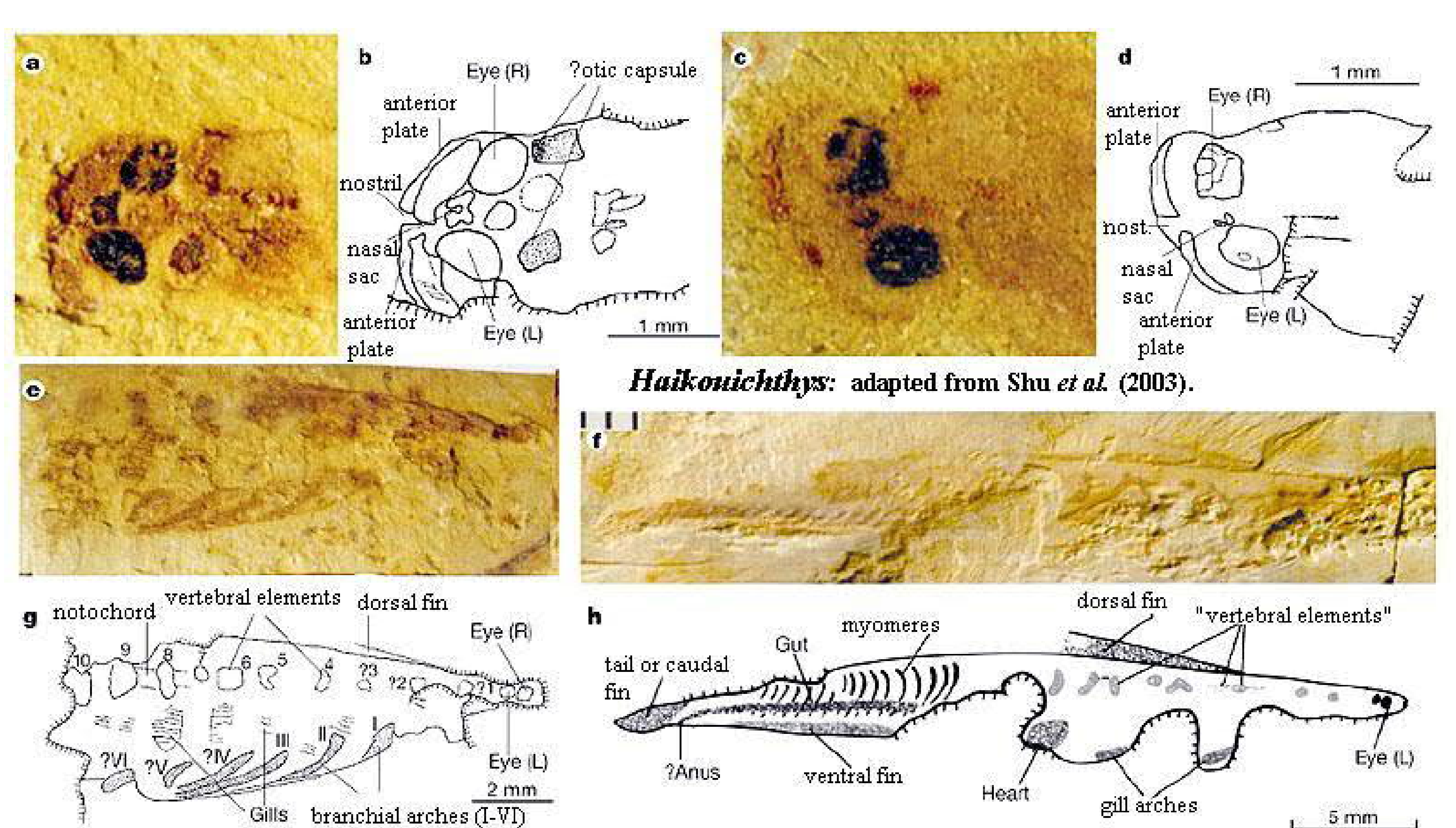



A

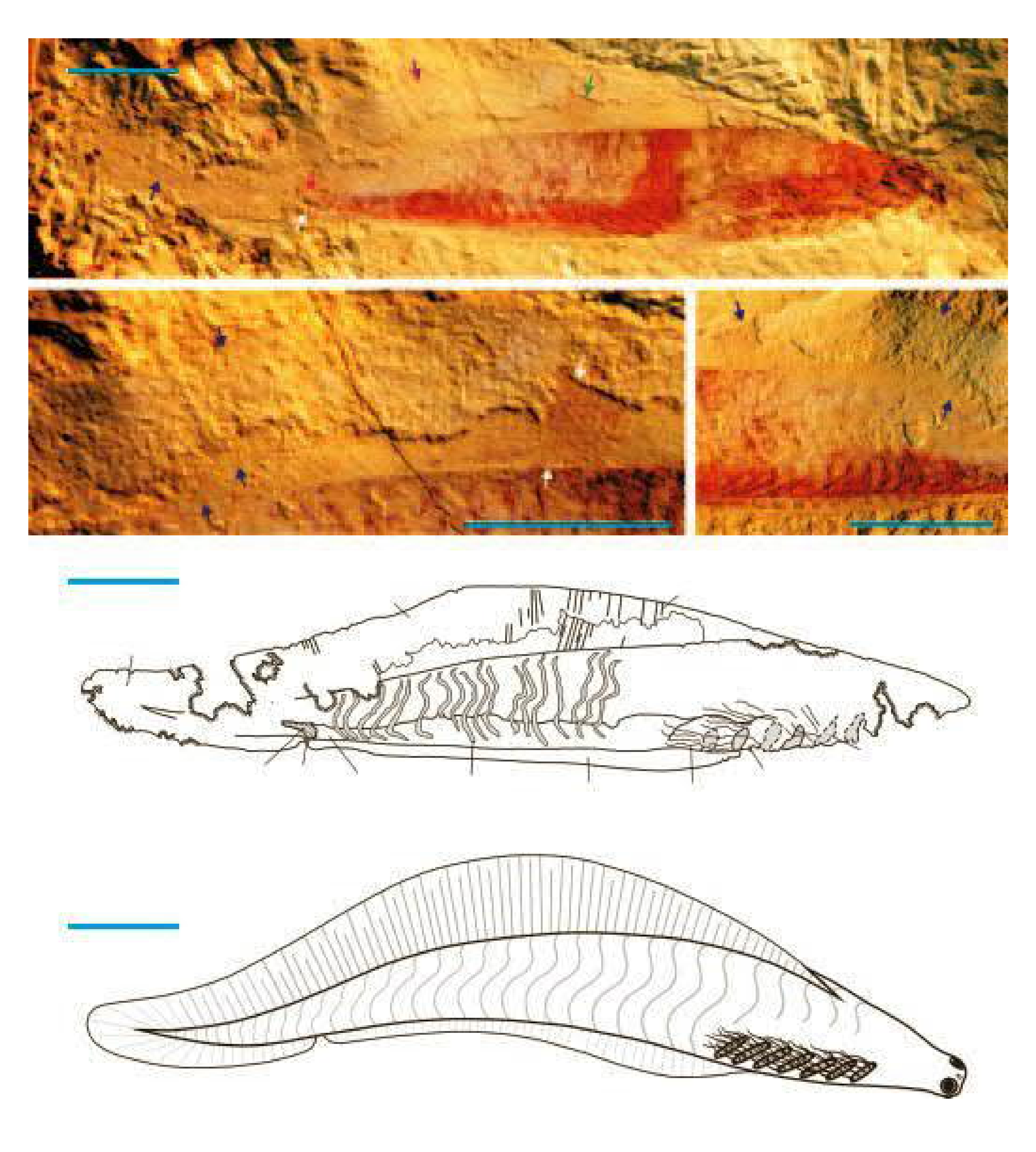

B
Auditory vesicle
Eye
Protovertebrae
Dorsal fin
Fin radials
Protovertebrae
1
2
3
4
5
6
7
Nasal capsule
Branchial arches
Gonads
Ventral fin
Myosepta
Gut
Anus





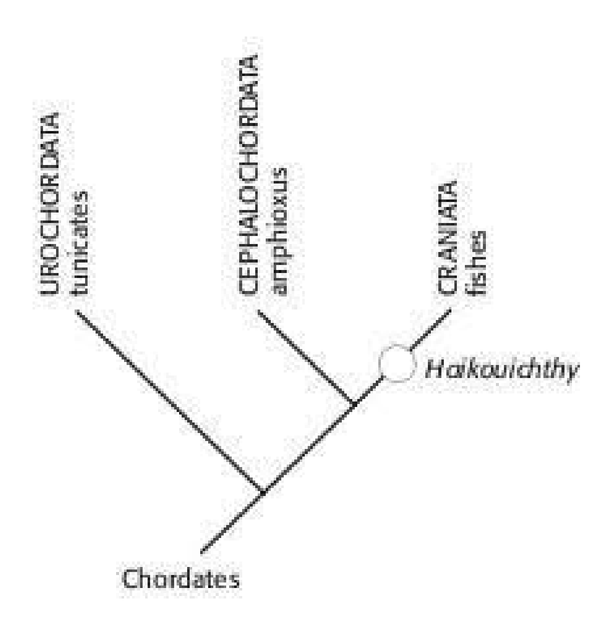


***Haikouichthys*: adapted from Shu *et al.* (2003).**



متحجرات وإعادات بناء وتصور للشكل الذي كان عليه Haikouichthys

إني أستعمل الكلمتين المستعمَلتين في الاستعمال العادي اليومي "سمكة" و"أسماك" بمعنى كائن قرنيومي [بدائي لديه صندوق مخ]، أيْ: تلك الحيوانات الأوثق صلةً بالأسماك الحية أكثر مما هي للحبليات الرأسيّة. إنني أستعمل مفهوم نقطة التفرع أو "المنبت" التطوري، أو الفرع الذي تحت نقطة التفرع (الساق) الذي يعيِّن أولَ ظهورٍ للسمكة أو الأسماك (راجع الفصل الثالث، ص ١٠٧).



الشكل ٧– ٣ مخطط شجرة تطورية. نرى في هذا الملخص أن الفقاريات تطورت من الحبليات الرأسية وليس من بخاخات الماء. اقدم سمكة موثقة على نحو جيد هي Haikouichthys من العصر الكامبري الأدنى [الأبكر] في الصين. [ترجمة الشكل البياني إلى العربية: تطور من سلف الحبليات كلٌ من: الحبليات الذيلية (بخاخات الماء أو المغلفّات)، والحبليات الرأسية (الرُمَيْح)، ومن الحبليات الرأسية تطورت القرنيوميات ("الأسماك") وأقدمها هو Haikouichthys.]

أوائل الأسماك

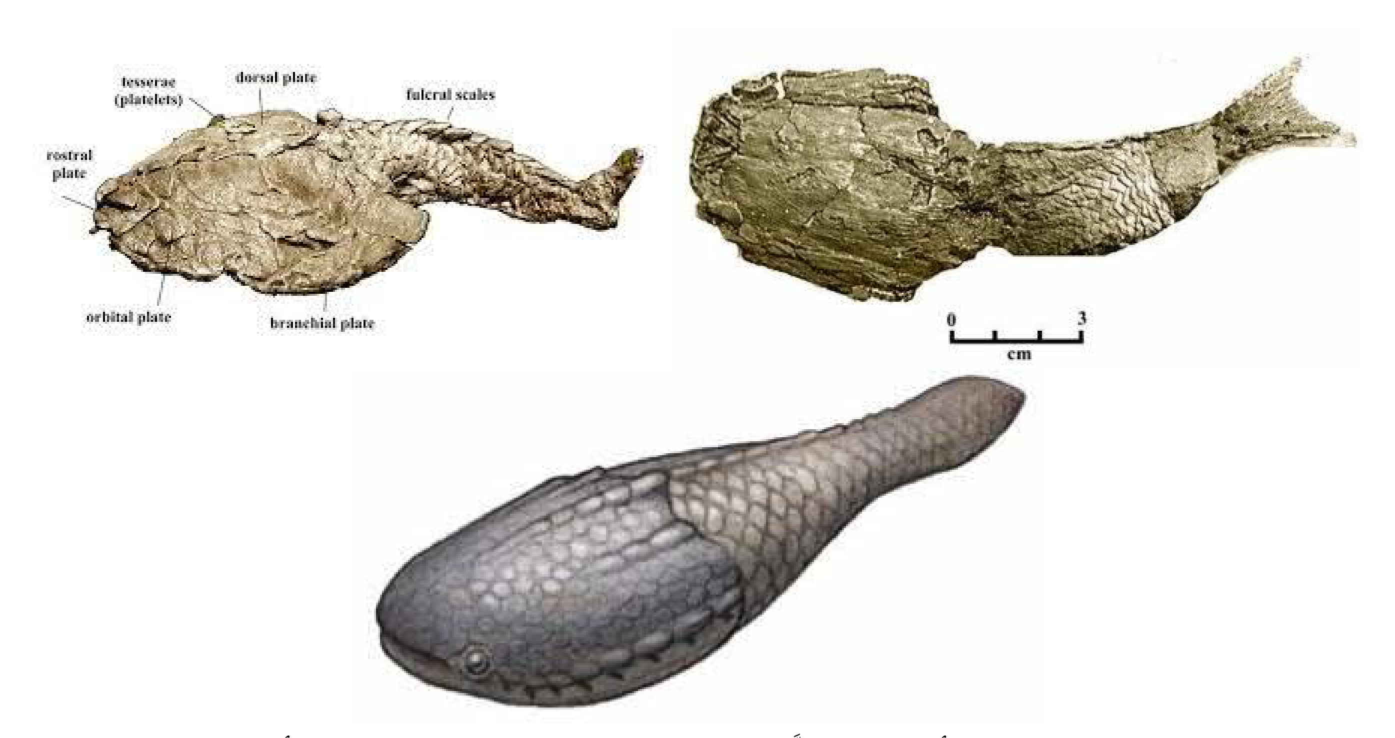
لدينا حاليًّا أكثر من خمسمئة عينة من Haikouichthys. رغم أنه يصعب تصور الشكل الذي كانت عليه الأجزاء الطرية، فإننا نستطيع حاليًّا قولَ شيءٍ عن أوائل الأسماك من واقع المتحجرات الحقيقة وليس التخمينات النظرية. أولًا، فُهِم جزءٌ في المقدمة والذي له مناطق مظلمة على أنه عينان، وربما كذلك كانت توجد جيوب أنفية. يقبع الفم والخياشيم تحت منطقة "الرأس" هذه مباشرةً. تلتف بعض التراكيب _على الأرجح غضاريف_ حول الحبل الشوكي، فتلك كانت على الأرجح فقاريات غضروفية. ولو كان الأمر كذلك فإن الـHaikouichthys [السمكة الهايكويّة] كان فقاريًّا حقيقيًّا.

لقد تطور الحبل الشوكي على الأرجح كبُنية تُساعد في السباحة. لكن فيزياء الهيدروديناميك [الحركة في الماء أو عن طريقه] تُملي بأن كفاءة السباحة تزداد مع زيادة طول الجسد. بينما كانت الحبليات المبكرة "تستكشف" طرقًا عديدة للحياة [الاعتياش]، فلعل الأنواع الأكثر نشاطًا في السباحة قد ازداد حجم جسدها. لكن لا بد أن يأتي حجم جسد تتطلب السباحة الكفؤة بالنسبة له صلابة أكثر من التي يستطيع الحبل الشوكي أن يعطيها، ثم أصبح وجود نوع ما من الهيكل الغضروفي أو المتعدِّن وسيلةً رخيصةً لزيادة الكفاءة. وحاليًّا فإن Haikouichthys هو أول علامة على هذا التقدم الفارق في الكفاءة الميكانيكية.

إن أبكر الأسماك ذوات الأجزاء الصلبة _من العصر الأوردوفيتشي_ لم تمتلك هيكلًا عظميًّا داخليًّا. عوضًا عن ذلك، فقد طَوَّرَتْ صفائح عظمية متمعدِنة والتي غطَّتْ بعض أو كل أجسادها، مضيفةً صلابةً ومانحةً أصل المصطلَح "الأسماك مصفَّحة الجِلْد" من أجْلِها (انظر الصورة ٧– ٤). بنفس الطريقة، فإن القروش في العصر الحالي يفتقدن وجود هيكلٍ عظميٍ داخليٍ لكنهن بدلًا من ذلك لديهن ألياف جلد قاسية تزيد من صلابة الجسد بدرجة كبيرة. لقد زوَّدَتْ صفائحُ الأسماك المصفَّحة بحماية أيضًا، من المفترِسات المحتمَلة ومن السحجات بفعل الأسطح الرملية والصخرية.

رغم ذلك، فإن العظم كثيف، ولقد جعلت الصفائحُ الثقيلةُ الأسماكَ المبكِّرةَ ثقيلة الحركة نسبيًّا، ذوات تسارُعٍ بطيء. لقد سبِحْنَ على الأرجح ببطء على قيعان البحار، بداخل صناديق ضخمة.

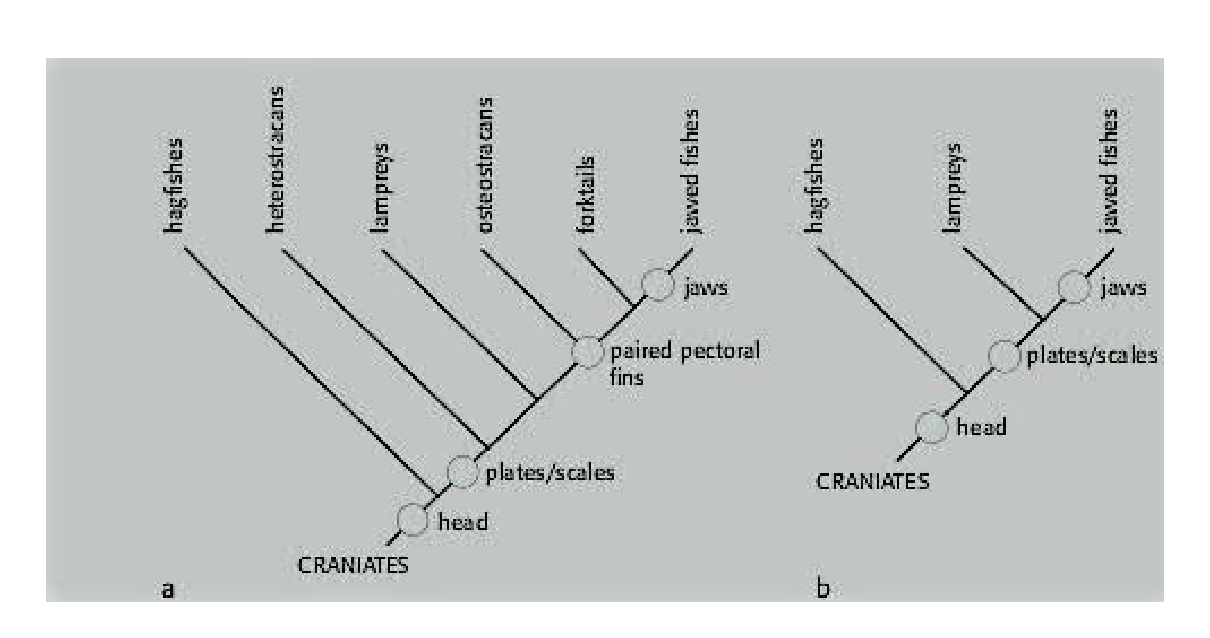
إن Astraspis من العصر الأوردوفيتشي من كولورادو هي إحدى أفضل الأسماك المبكرة حفظًا [كمتحجرات] (الصورة ٧– ٤). لقد حمَى درعٌ للرأس [خوذة] المركزَ العصبيَّ الأماميَّ (والذي من هذه المرحلة يمكن إطلاق اسم مخ عليه)، وأيضًا وفَّرَتْ مخروطًا أنفيًّا قويًّا لشق طريقه عبر الماء بدون أن تتثنَّى، وللسَبْر [أو الجسّ] عبرَ الرواسب الطريّة. وكانت توجد وراء العينين صفائح ذوات فتحاتٍ للسماح بالماء بالتدفق عبْرَ الخياشيم. وكان الذيلُ قصيرًا مربوعًا [قصيرًا سميكًا] متماثل الجانبين صغيرًا، وقد سبحت هذه الأسماكُ على الأرجح جيدًا لكنْ ليسَ سريعًا.



الصورة ٧– ٤ صورتان لمتحجرتين، وإعادة بناء وتصور لإحدى الأسماك المصفَّحة. وهي Astraspis سمكة من العصر الأوردوفيتشي من كولورادو، وكانت بطول ١٣ سم (٥ بوصات).

لم تمتلك أيٌّ من الأسماك المبكرة فكوكًا، فقد كانت عديمة الفك (agnathan). لقد كان لها فم بسيط قرب المقدمة تقريبًا ولا بد أنها تغذَّتْ على الأشياء الصغيرة سهلة الهضم.

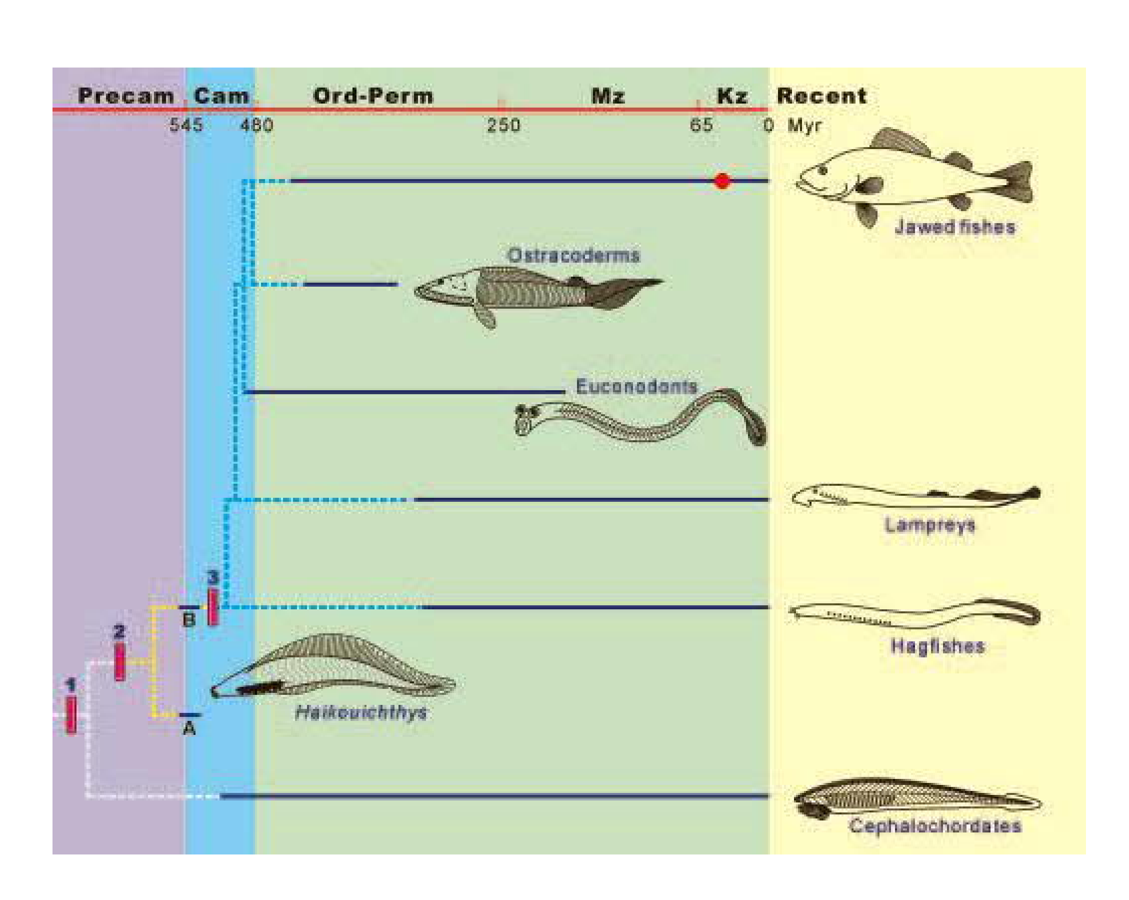
إن الأسماك عديمة الفك القلائل التي تعيش في العصر الحالي (سمك الجريث أو الجن والجلكي) لها طريقة حياة تطفلية أو بخلاف ذلك طرق حياة غريبة، ولا يمكن أن يزودنا بالكثير عن إيكولُجيّة [طريقة الاعتياش والعلاقات مع الكائنات الحية الأخرى والبيئة الخاصة بـ] أو تطور أسلافهن الأقدم. يوضِّح مخطط شجرتين تطوريتين العلاقات التطورية لأكثر الأسماك بدائيةً (الشكل ٧– ٥). إن الأسماك عديمة الفكة الحية في العصر الحالي هن الناجيات القلائل من تنوع أعرض بكثير للأسماك المبكِّرة.



الشكل ٧– ٥ مخططا شجرتين تطوريتين يوضِّحان العلاقات التطورية بين مجموعات الأسماك عديمة الفك. يقدم المخطط التطوري الخاص بالمجموعات الحية ذو رقم (ب) معلومات محدودة عن تاريخهن. بينما عندما تُضَمَّن المجموعات المنقرضة كما في المخطط (أ) فإن المخطط التطوري يُظهِر أنهن مجرد بقية من التنوع السابق الماضي للأسماك عديمة الفك (قيم بتبسيطه عن كتاب Janvier، ١٩٩٦).

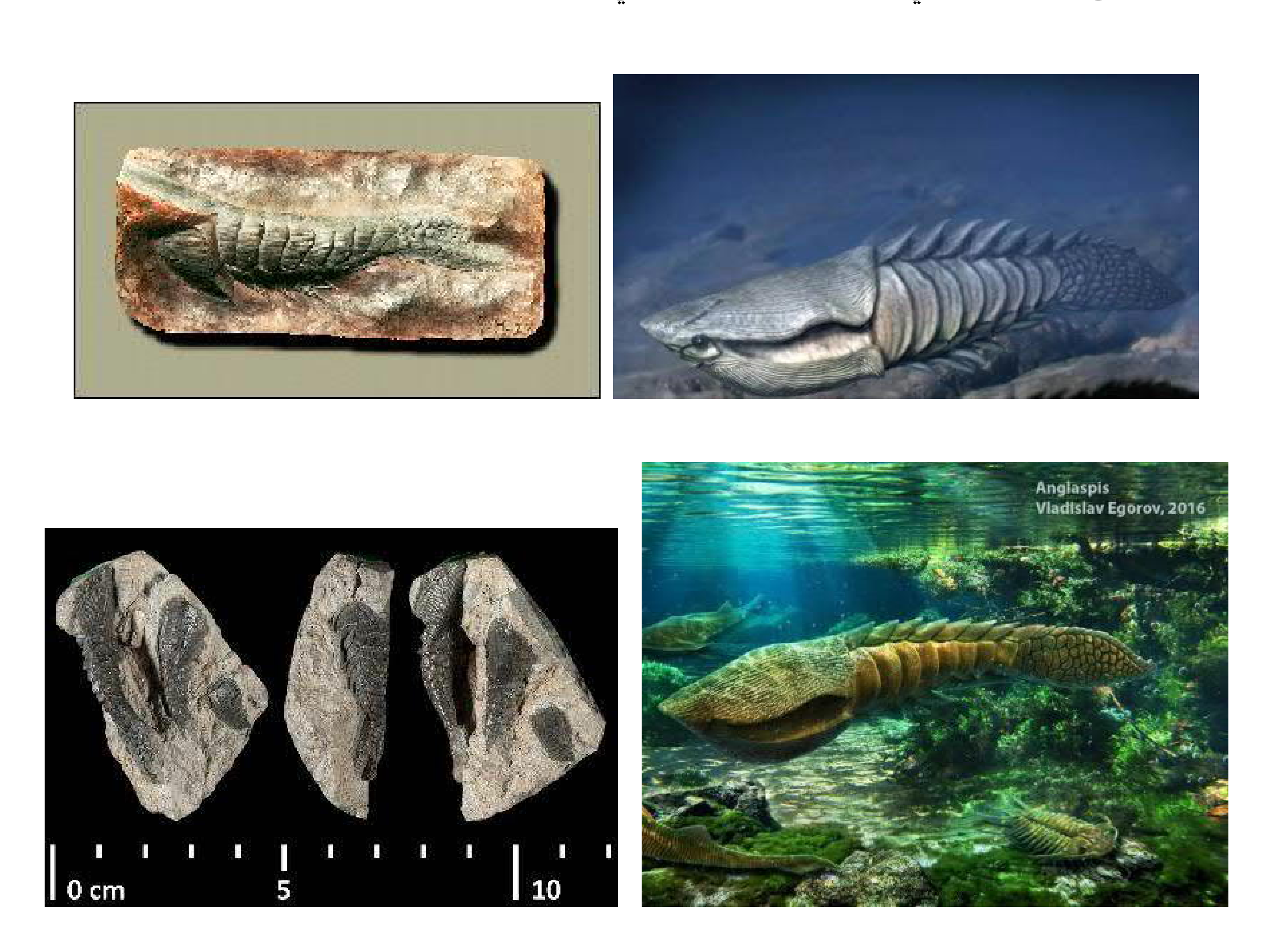
[ترجمة عربية: يشمل المخطط ب القرنيوميّات ويتطور منها ذوات الرأس ويتفرع عنها سمك الجريث من الأسماك عديمة الفك ثم ظهور صفة الصفائح والقشور لدى بعض الأسماك ومنهن نوع سمك الجلكي ثم ظهور الأسماك ذات الفك، ثم ظهور الأسماك ذوات الذيل المتشعِّب،

أما المخطط أ الأشمل فيتضمن القرنيوميات ويتطور عنها ذوات الرأس ومنهن [من متحدرات أحد أنواهن] سمك الجريث عديم الفك، ثم ظهور صفة الصفائح والقشور لدى بعض الأسماك، ويتفرع عنها heterostracans الأسماك ذوات القشور أو الصفائح المتباينة الأحجام والأشكال، ويتطور عنها من متحدراتها سمك الجلكي، ثم ظهور صفة الزعانف الصدرية المزدوجة ومنها تتطور الأسماك عظمية الصفائح osteostracans، ثم الأسماك ذوات الفك.



ذوات القشور المتباينة

كانت heterostracans ذوات القشور المتباينة [الأشكال والأحجام] أول الأسماك الوافرة (في العصرين السيلوري والديڤوني). لقد كان لهن دروع للرأس مسطحة وعين على كلٍّ من الجانبين، وقد كن متكيفات جيدًا لاغتراف الطعام من البحر (الشكل ٧- ٦). بعضهن كان لهن صفائح حول الفم والتي ربما قد امتدت كمغرفة جارفة. يدل الرأس الصلب والجسد الصلب المصفَّح تصفيحًا ثقيلًا على أن الدفع [أو التسيير] جاء على نحو أساسي من الذيل في نمط سباحة بسيط، بدون أي أسطح تحكم من التي تقدمها الزعانف المعقَّدة المتطورة الخاصة بالأسماك الحديثة. رغم ذلك، فقد كانت طريقة حياة الأسماك متباينة الصفائح ناجحةً، وقد عُثِرَ على متحجراتهن في كل نصف الكرة الشمالي.

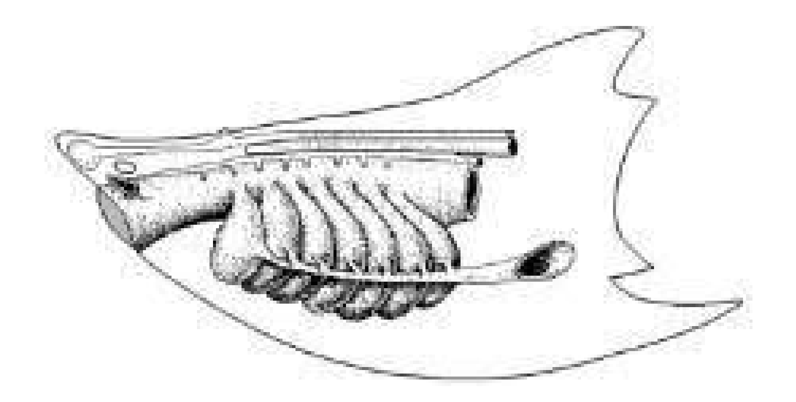


الشكل ٧- ٦ كانت الكثير من الأسماك المصفَّحة متباينة الصفائح متكيفة لاغتراف الطعام من قيعان البحار، لذلك كان الفم يقبع تحت الوجه المصفَّح بالدرع. الصور أعلاه لبعض متحجرات Anglaspis وإعادتي بناء لها.

لقد انتوعت الأسماك متباينة الصفائح سريعًا في العصر السيلوري وتطورت أشكالها باتجاه أشكال أكثر كفاءةً هيدروديناميكية [حركية مائية] عبر الزمن. إن Pteraspids الأسماك مصفَّحة الزعانف جناحية الشكل (الشكل ٧- ٧) كانت أكثر الأسماك المتباينة الصفائح وفرةً في العصر الديڤوني. لقد كان لهن دروع رؤوس مصفَّحة انسيابية [في الحركة عبر الماء] على نحو رائع، مع أنف مخروطي حادّ وشكل منحنٍ صقيل والذي منح حركة باتجاه الأعلى لمضادّة ومعادلة كثافة الدرع. وكانت شوكةٌ تبرُز على الظهر باتجاه الخلْف فوق الجِذْع خفيف التصفيح، لأجْل الحماية جزئيًّا ولأجل الثبات الهيدروديناميكي [المائي الحركي]. وكان للأسماك مصفحة الزعانف ذيل نصفه الأسفل أطول من الأعلى، وفي حال كانت الأمور كما نتوقعها ونتصورها، فإن هذا أيضًا ساعد السمكةَ على معادلة وزن درع الرأس. كان الفم يقبع تحت الرأس، وغطت صفيحة بطنية الخياشيمَ. كان الماء يُدخَل من خلال الفم، وكانت ممرات خروجه مجموعةً بإحكامٍ باتجاه مؤخرة درع الرأس، بشكل مشابه للغاية لإطلاق العوادم في الطائرة الحربية ثنائية المحرك النفَّاث. في بعض الأشكال كان درع الرأس مسطَّحًا جدًّا، للتزلق عبر الماء كما تتزلق الطائرة مثلثة الجناح عبر الهواء.

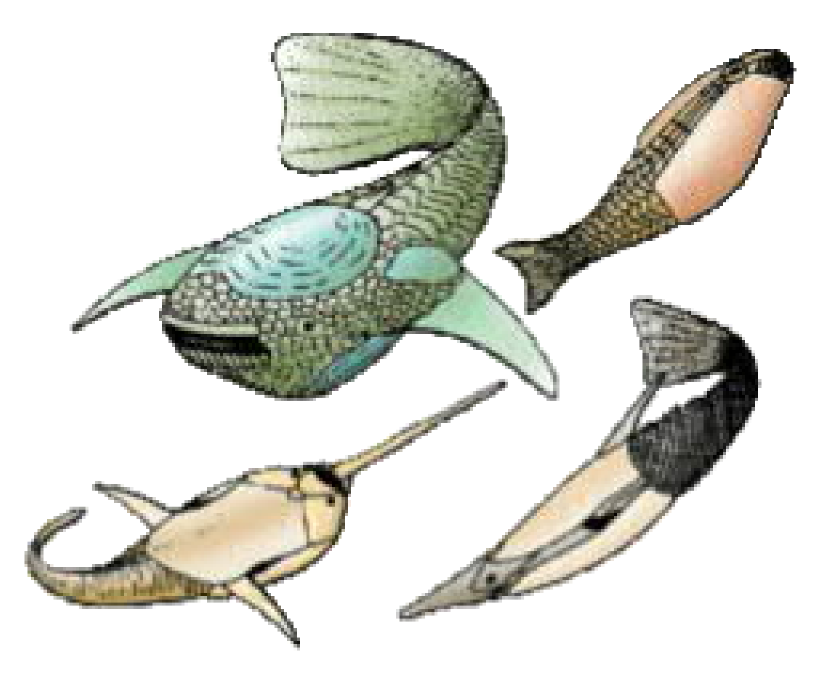
الشكل ٧- ٧ إعادة بناء لـPteraspis السمكة مصفحة الزعانف تُظهِر درع الرأس المصفَّح القوي والجذع المرن والذيل، مع بعض صور المتحجرات.

كانت Amphiaspids الأسماك مصفَّحة الجانبين مجموعة أخرى من heterostracans الأسماك متباينة الدروع والتي عُرِفَت أكثر متحجراتها من سَيْبيرْيا. وجدَتْ Larisa Novitskaya عيناتٍ استطاعت منها إعادة بناء شكل تركيب الخياشيم (الشكل ٧- ٨). إن أجهزة خياشيم الأسماك مصفحة الزعانف والأسماك مصفحة الجانبين بدتا مثل أجهزة إخراج العوادم الخاصة بسيارات السباق في ثلاثينيات القرن العشرين (١٩٣٠ت)، متشاركة معها في تصميمها المحقِّق للتمرير الكفؤ للوقود.



الصورة ٧- ٨ رسم مبسَّط من إعاد بناء داخلية لخياشيم amphiaspid الأسماك مصفحة الجانبين التي قامت بها Larisa Novitskaya، توضِّح تشابهها مع جهاز إخراج العادم الخاص بسيارة سباق قديمة من ثلاثينيات القرن العشرين متعددة السلندرات [الأسطوانات أو تجاويف مكبس المحرك] مزادة الشحن.

لكن رغم كل هذا التطور الناجح، لم تطوِّر الأسماك متباينة الصفائح قط الزعانف المزدوجة. فكانت طاقة سباحتهن تأتي بالكامل من الجذع والذيل، مع مساعدة قليلة ربما من عادم الخياشيم.

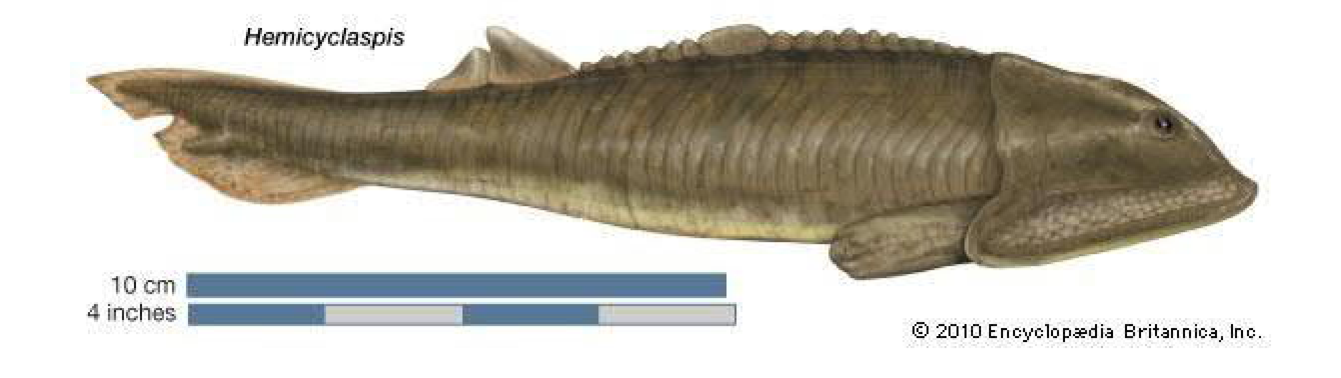


Heterostraci الأسماك متباينة أشكال وأحجام الصفائح

ذوات الدروع العظمية

في حال كانت كل الأمور كما نتوقع ومتساوية في سائر الأمور الأخرى، فإن أي كائن حي سابح كان سيستفيد بتطويره لسباحة قوية وقدرة أفضل على المناورة. لقد رأينا هذا بالفعل بين الأسماك متباينة أشكال الصفائح. لقد جاء تجديد وابتكار مع تطور الزعانف المزدوجة، مما أدّى إلى تشعب الأسماك العديمة الفك الجديدة الخاص بالعصر السيلوري المتأخر، وهي الأسماك عظمية الصفائح osteostracans (الشكل ٧– ٥). كانت Osteostracans الأسماك العظمية الصفائح مشابهة للأسماك المتباينة الصفائح heterostracans في أنها امتلكت درع رأس مصفَّح بقوة وجسد مرن نسبيًّا وذيل يزوِّدان بمعظم طاقة التسيير.

عاشت أهم الأسماك عظمية الصفائح، وهي مصفَّحة الرؤوس cephalaspids (الصورة ٧– ٩)، منذ العصر السيلوري المتأخر حتى العصر الديڤوني. كثيرًا ما كانت دروع رؤوسهم الصلبة الكبيرة بها شوكة كبيرة متجهة إلى الأمام وشوكتان أو قرنان يمتدان إلى الخلف عند كل ناحية. كانت زعانف مزدوجة قوية ملحَقة بالزوايا الخلفية الخاصة بدرع الرأس، داخل الأشواك الواقية تمامًا. كان الجسد خلف درع الرأس مضغوطًا حرفيًّا، كما في معظم الأسماك الحية اليوم، وأضافت الزعانف الظهرية الصغيرة الثباتَ. كان ذيل مصفحات الرأس cephalaspid أكثرَ تعددَ استعمالاتٍ ومرونةَ حركةٍ من ذيل الأسماك متباينة الصفائح heterostracan، وكان لها بعض الرفارف الأُفُقِية والتي أضافت أسطح تحكم جديدة.



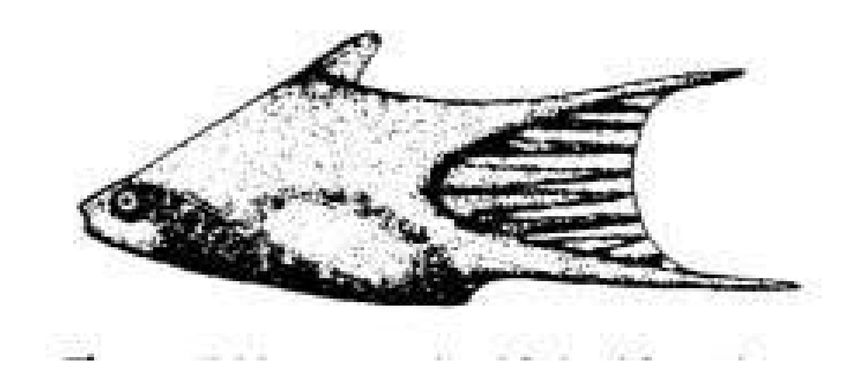


الشكل ٧– ٩ السمكة مصفحة الرأس Hemicyclaspis أي ذات الدرع الشبه دائري امتلكت زعانف مزدوجة ومنطقة حسية استشعارية كبيرة على كل جانب من درع الرأس الصلب.

كانت مصفحات الرؤوس ساكنات لقيعان البحار. كان الفم يوجد على الجانب السفلي المسطح الخاص بدرع الرأس. كانت العينان صغيرتين وقريبتين من بعضهما على أعلى درع الرأس. بالإضافة إلى ذلك، كان لمصفحات الرأس مناطق حسية كبيرة على كل جانب من درع الرأس، مغطاة بصفائح صغيرة جدًّا (الصورة ٧– ٩). ربما تكون هذه الأعضاء قد استُعْمِلَتْ كمستشعرات للضغط في الماء المظلم، رغم أنها قد تكون استشعرت المجالات الكهربية، كما تفعل القروش الحية المعاصرة.

ذوات الذيل المتشعِّب

في عام ١٩٩٨م، تُعُرِّف على مجموعةٍ جديدة من الأسماك العديمة الفك على أساس بعض المتحجرات الصغيرة لكنها محفوظة جيدًا من شماليِّ كندا. إنها الـFurcacaudiformes أو ذوات شكل الذيل المتشعب، لكني سأدعوها بذوات الذيل المتشعب لأن هذا ما يعنيه الاسم الرسمي. كانت الأسماك متفرعة الذيول صغيرة الأجساد وعميقتها، وغير اعتيادية لأن الطين يُحْفَ بداخلها، مالئًا تجويف معدة واضح (الشكل ٧– ١٠). لا تحتاج الأسماك المتغذية بالترشيح من الماء _والتي تصطفي طعامَها بعناية قبل ابتلاعه_ مَعِدَاتٍ كبيرةً؛ بينما تحتاج الأسماك آكلة الطين والمفترسة إياها. يظهر أن الأسماك المتشعبة الذيول كانت آكلة للطين، لكن لعل تطور معدة واضحة متخصصة قد تُطُلِّبَ قبل أن تستطيع الأسماكُ تطوير الفكوك وأكل الفرائس الكبيرة. من جهة تطور الأسماك عديمة الفك، فإن الأسماك متشعبة الذيل تتموضع تمامًا باعتبارها المجموعة الأخت عديمة الفك للأسماك ذوات الفك (نظر رسم مخطط الشجرة التطورية ٧– ٥).

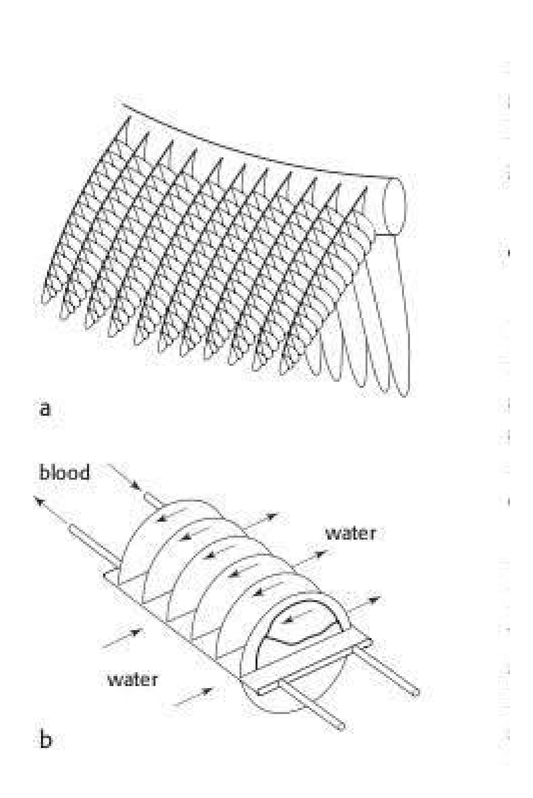


الشكل ٧– ١٠ سمكة متشعبة الذيل بصورة عامة من العصر الديڤوني المبكر الخاص بكندا. يحتوي هذا الرسم على عناصر خاصة بأكثر من نوع واحد من الأسماك المتشعبة الذيل. لاحظ التظليل على انتفاخ المَعِدة الكبير، الغير متوقعة في سمكة عديمة الفك.

تطور الفكوك

بحلول العصر السيلوري، ملأت الأسماك عديمة الفك الكثير من الكُوَّات [الفراغات، الأدوار] البيئية الإيكولوجية. وقد كانت مقتصِرةً على أكل الجسيمات الصغيرة كالعوالق من السطح، والرواسب على قاع البحر، أو الطعام الطري سهل البلع مثل الديدان أو قناديل البحر. لكن من بينهم كانت هناك أسماك تخوض عملية تطوير الفكوك. لقد كان تطور الفكوك تطورًا كبيرًا لإيكولُجيَّة التغذية الخاصة بالأسماك، لقد أدى بوضوح إلى انحطاط وتدهور الأسماك العديمة الفك الباقية على قيد الحياة في تنافسها مع الوافدين الجدد.

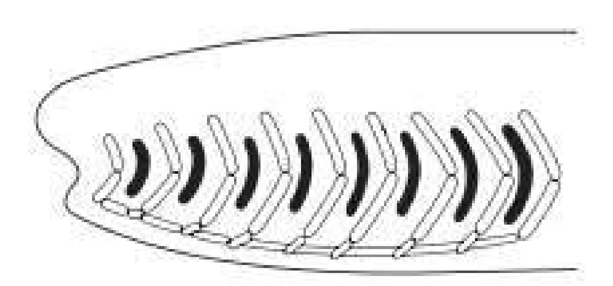
تقترح دراسات التشريح وعلم التنمي الجنيني _لكنها لا تُثْبِت_ أن العظام التي تُكَوِّن فكوك الفقاريات تطورت في الأصل من الأقواس الخيشومية الخاصة بالأسماك العديمة الفك. في الأسماك الحية المعاصرة يؤخَذ الماء إلى الداخل عبرَ الفم ويُمَرَّر إلى الخلف وراء الخياشيم (الشكل ٧– ١١). إن الخياشيم طرية، لذلك يجب أن تدعمها في تيار الماء شرائطُ رقيقةٌ من العظم أو الغضروف تُعرَف بالأقواس الخيشومية. كلما ازداد الماء المارُّ عبر الخياشيم، ازدادت كمية الأُكْسُجِن التي يمكن امتصاصها والطاقة التي تستطيع السمكةُ توليدَها. تمتلك الأسماك الحية المعاصرة عادةً مضخاتٍ من نوعٍ ما لزيادة وتنظيم تدفق الماء المار خلال الخياشيم. تستعمل معظم الأسماك حركةَ ضخٍّ تزيد وتُنقِص بها حجمَ تجويف الفم بثني الفكين. تسبح أسماك التونة بسرعة للغاية في حركة كالمحرك النفّاث بحيث تدفَع الماءَ بقوةٍ عبر الخياشيم، تمامًا كما تدفَع التجويفاتُ الهوائية الخاصة بالطائرات الحربية النفاثة الهواءَ إلى المحركات التوربينية المدارة بالهواء.



الشكل ٧– ١١ كيفية عمل الخياشيم في معظم الأسماك الحية المعاصر. الخياشيم مصفوفات من بنيوات شبيهة بالصفائح موضوعة في صفوف مدعومة على محور قوي. (أ) يُضَخُّ الدم الفقير بالأكسجن عبر نظام أحادي الاتجاه من خلال كل بنية شبيهة بالصفيحة. (ب) يُضَخُّ الماء عبر الاتجاه الآخر مستبدلًا الغازات مع الدم بفصل الأكسجن وأخذ ثاني أكسيد الكربون.

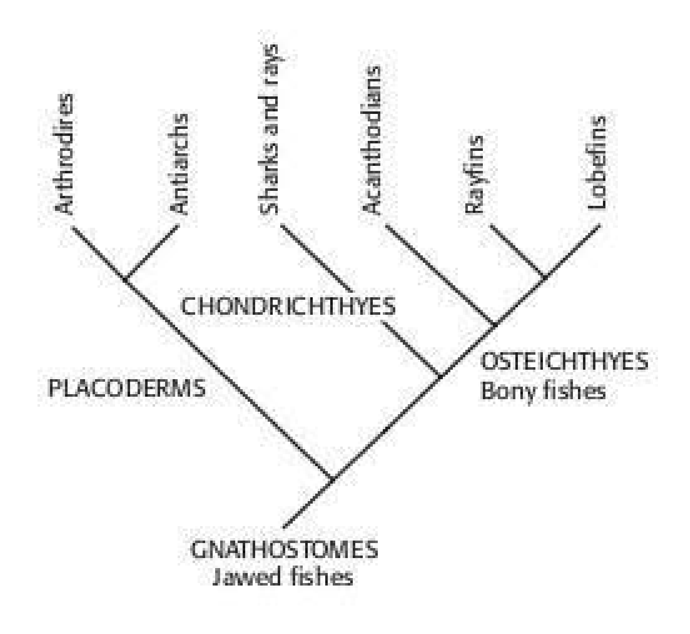
إن كانت الفكوك قد تطورت من قوس خيشومي، يكون تطور الفك على الأرجح قد كان مرتبطًا في الأصل بالتنفس بدلًا من التغذية. ربما قد أعيق تدفق الماء من خلال خياشيم الأسماك العديمة الفك بفعل صغر أفواهها وبفعل التدفق البطيء للماء عبر الخياشيم، لذا ربما حد من ممارستهم للسباحة نقص الأكسجن. ربما تطور مفصلٌ في القوس الخيشومي الأمامي بحيث ينثني ليَفْتَحَ الفمَ أوسعَ، ضاخًّا ماءً أكثرَ إلى الخلف عبر الخياشيم (الشكل ٧– ١٢). عبر تلك العملية، حُوِّلَ القوس الخيشومي إلى فك حقيقي. إن فتح فكي سمكة عظمية متوسطة الحجم كالتروت [سمكة السلمُن المرقَّط] أو السلمُن يُظْهِر التشابهَ بين الفك والأقواس الخيشومية الداخلية.

ازداد مقدار استيعاب الطعام وتغيير الأكسجن بتطور الفك، حتى لو استمرت الأسماك في تناول الجسيمات المجهرية. أقترح أن الفكوك تطورت في الأسماك السابحة بنشاط والتي كانت تطور أداءَها (على الأرجح الأسماك متشعبة الذيل).



الشكل ٧– ١٢ الكيفية التي عملت بها الخياشيم على الأرجح في بعض الأسماك العديمة الفك المبكرة. كان يُبتلَع الماء عبر الفم، ويُمرَّر عبر شقوق خيشومية طولية عديدة (ملونة بالأسود). بين كل شق خيشومي كان يوجد قوس خيشومي (ملون بالأبيض)، وهو شريط رفيع من العظم يدعم الخيشوم. ربما في تكيف زاد من ضخ الماء، صار القوس الخيشومي الأول متصلًا بمفصل متحرك في الوسط وتطور آخر الأمر إلى بنية خاصة بالتغذية، وهي الفك.

الأسماك ذوات الفكوك تقع في رتبة الفكيات، كنقيض للافكيات أو الأسماك العديمة الفكوك. لا يوجد اتفاق عام على تصنيفهن وتطورهن المبكر، على نحو رئيسي لأنها تطورت وتشعبت سريعًا للغاية حوالي التخم السيلوري الديڤوني بحيث يصعب تقرير أي المجموعات أوثق قرابةً. سوف يساعدنا تصنيف مبسط محل خلاف ومخطط شجرة تطورية مؤقت تجريبي في دراسة المجموعات المتنوعة (الشكل ٧– ١٣).



GNATHOSTOMES

الأسماك ذوات الفكوك

†PLACODERMS

مصفحات الجلد

†Arthrodires

ذوات الرقبة المزودة بمفصل بين الدرع المحيط بالرأس وبين الجسم

†Antiarchs

Antiarchi نوع مدرع بتدرع ثقيل

CHONDRICHTHYES

الأسماك الغضروفية

(sharks and rays)

القروش وسمك الحصيرة [أو السَفَن أو الشفنين]

OSTEICHTHYES (bony fishes)

الأسماك العظمية

†Acanthodians

الأسماك ذوات الأشواك [تُعرَف أحيانًا بالقروش الشوكية، وهو مسمى غير دقيق إلا من باب اعتبارها قروشًا بمفهوم المنبت التطوري]

Actinopterygians (rayfins)

شعاعيات الزعانف

Sarcopterygians (lobefins)

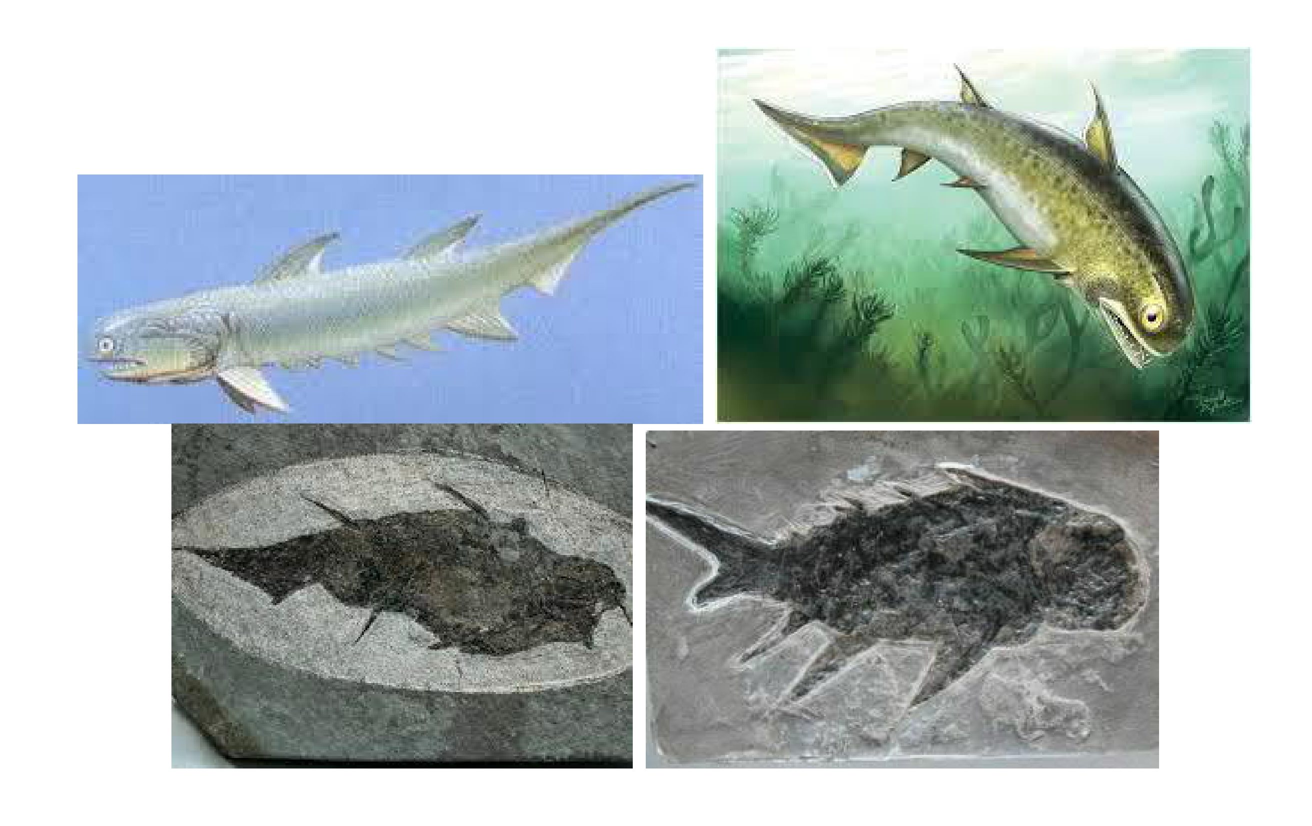
لحميات الزعانف

٧- ١٣ تصنيف مختلَف عليه ومخطط شجرة تطوري للأسماك ذوات الفك.

الأسماك ذوات الأشواك Acanthodians

أبكر الأسماك ذوات الفك هي أسماك صغيرة الحجم من العصر السيلوري تُدعى Acanthodians. إنها خفيفة الجسم، غير محفوظة المتحجرات على نحو جيد، وليست معروفة على نحو جيد جدًّا، وموضعها في مخطط الشجرة التطورية ٧- ١٣ محل خلاف). أشيرُ إليها فقط لأنها ضمن أبكر الأسماك ذوات الفك المعروفة، وقد يقلِب اكتشاف محظوظ واحد كل فهمنا لنشأة أبكر الأسماك ذوات الفك ولبُنية المخطَّط التطوري ٧- ١٣ رأسًا على عقب.

إن هذه المسألة مهمة، لأن تطور الفكوك والتوسع الناتج لإمداد الطعام الممكن كانا مفتاحين للتوسع الإيكولُجي [الخاص بالأدوار البيئية أو طرق الاعتياش] الهائل والنجاح التطوري للأسماك ذوات الفك. لكن الأسنان والفكوك مجرد أسلحة؛ فلا بد أنها استُعْمِلَت على أهدافٍ بنظام تناول. إن تاريخ الأسماك منذ العصر الديڤوني كان في معظمه خاصًا بزيادة الفاعلية في تثبيت وتمفصل الفكوك، وسرعة الهجوم، وفي هيدروديناميكية الدفع والقدرة على المناورة.



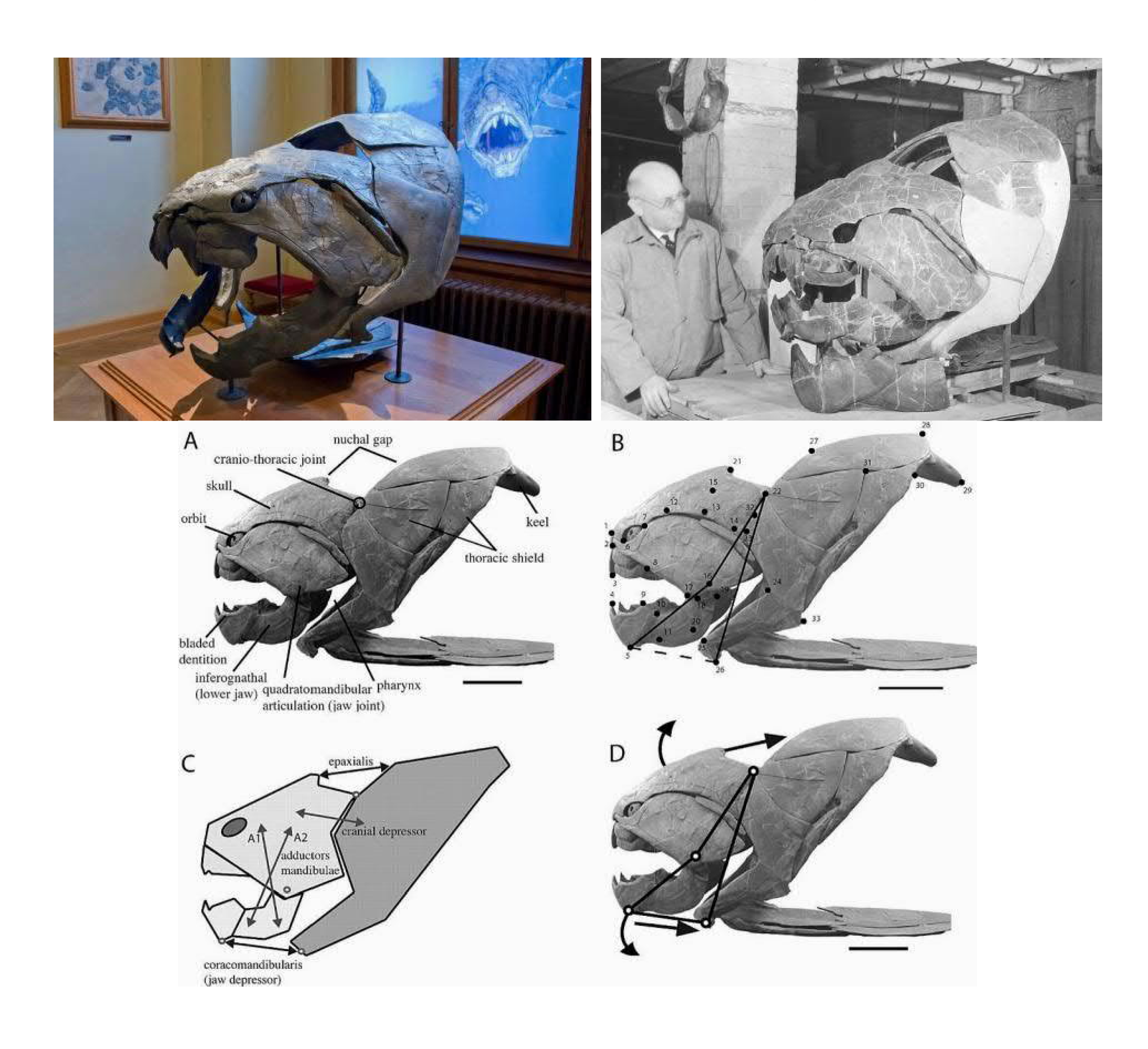


الأسماك ذات الأشواك

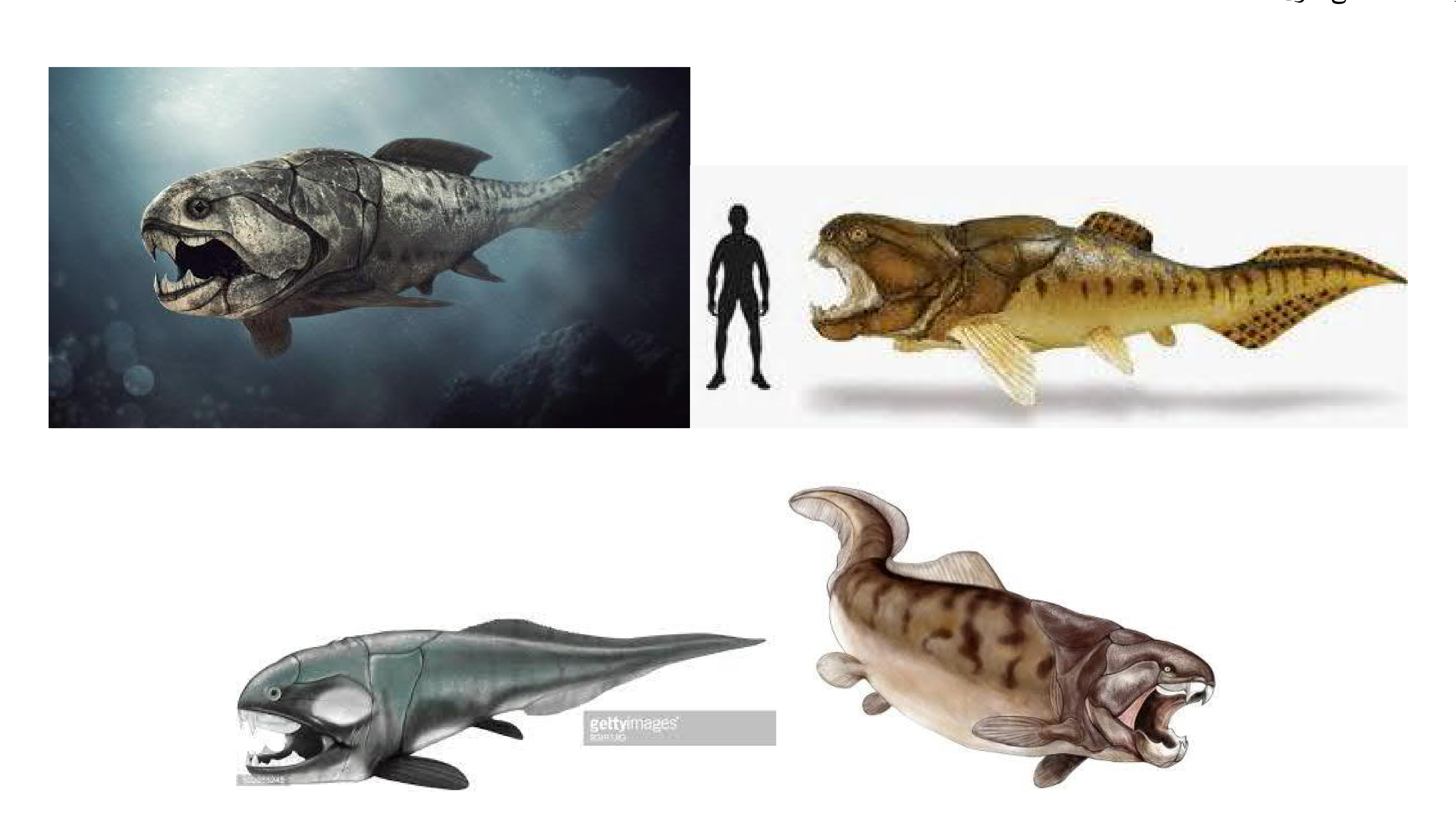
مصفحات الجلد Placoderms

كانت مصفَّحات الجلد Placoderms أسماكًا سائدة منتشرة على مستوى العالم خلال العصر الديڤوني. معظمها امتلك درع رأس متطورًا جيدًا مصنوعًا من عدة صفائح، متحدة بحزام مصفح محيط بالجزء الأمامي من الجذع، جاعلًا السمكة ثقيلة المقدمة. باقي الجذع كان مصفحًا على نحو خفيف، ومن المفترَض أن الجذع والذيل الطويل كانا مرنين. كان لها عدة أزواج من الزعانف، مما يدل على تحكم جيد في الحركة. لكن الجسد كان في العادة مسطحًا إلى حدٍّ ما، وكانت العينان عادةً صغيرتين ومتموضعتين على الجانب الأعلى من درع الرأس.

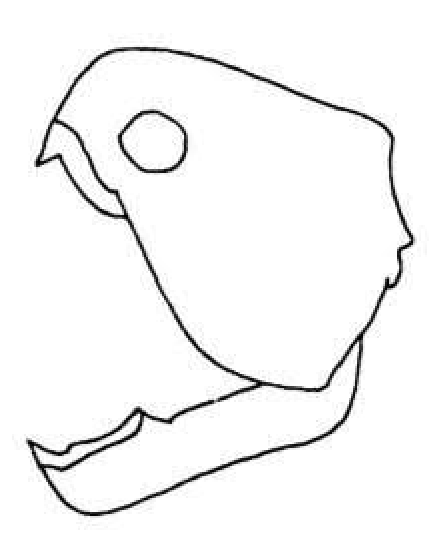
في الأكثر كانت مصفحات الجلد سابحات ماهرات، لكنها لا يمكن أن تكون قد كانت سريعة الحركة أو قادرة على المناورات السريعة. تدل العينان الصغيرتان على أنهن كن على الأرجح يستعملن حواسًّا أخرى إلى حد كبير، تمامًا كما تفعل القروش المعاصرة الحية. تنوعت الفكوك للغاية، لكن بعض مصفحات الجلد المتقدمة امتلكت صفائح سنية حادة الحد وحشية متموضعة داخل الفك (الصورة ٧- ١٤)؛ وقد كانت تلك مفترِساتٍ كبيرة الحجم تصل إلى طول ٦ أمتار (٢٠ قدمًا). وامتلكت أخرى صفائحَ سنية ساحقة، ربما لأكل الرخويات أو المفصليات.



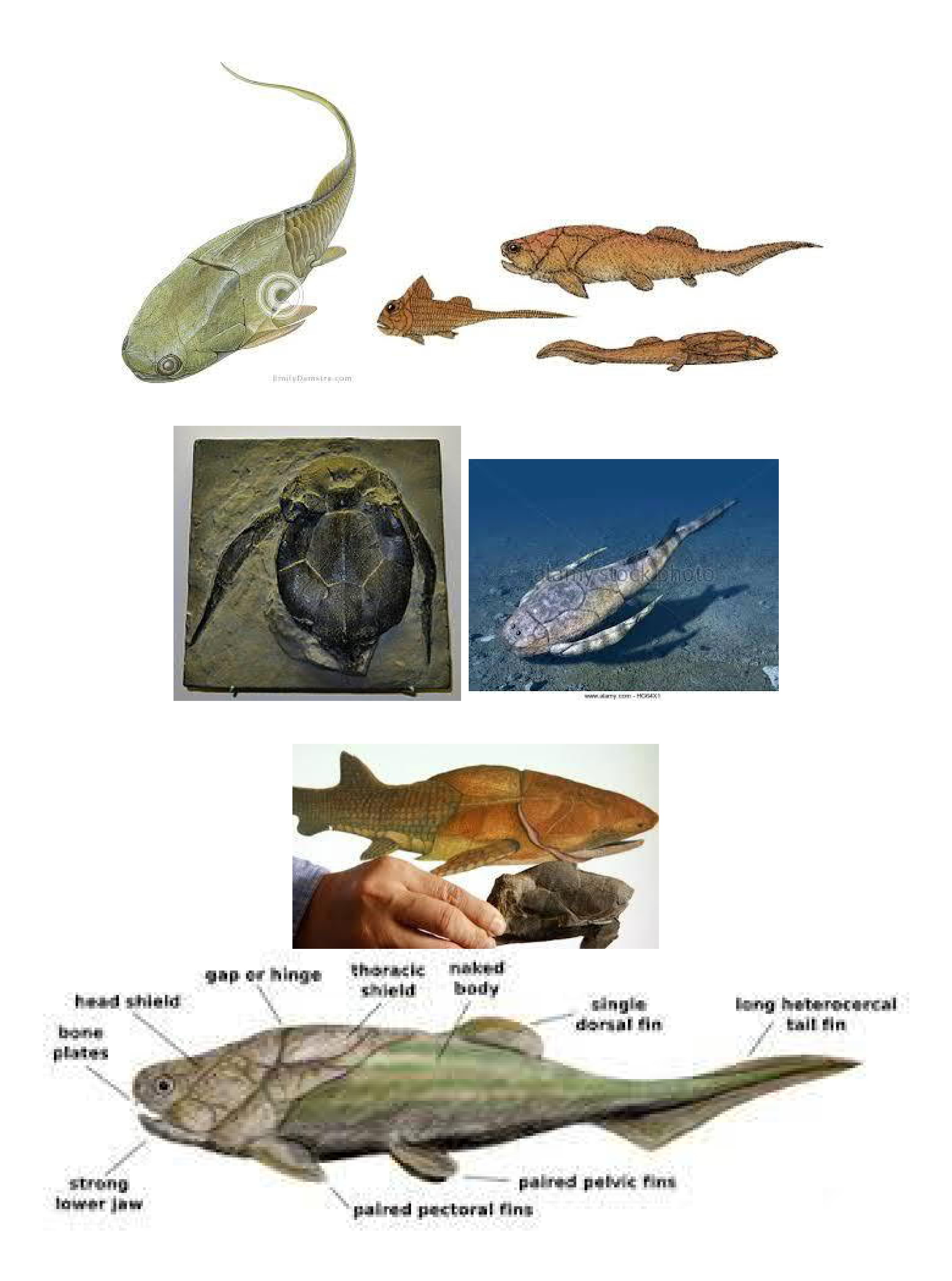
٧- ١٤ رأس الدنكلية [Dunkleosteus السمكة التي اكتشفها ديفِد دنكل] والتي كانت من الـArthrodires أيْ: ذوات الرقبة المزودة بمفصل بين الدرع المحيط بالرأس وبين الجسم من أواخر العصر الديڤوني. كان طول جسدها الكامل حوالي ٦ أمتار (٢٠ قدمًا)؛ وكان طول الرأس المدرع وحده مترين (٦ أقدام). منحت الصفائحُ السنيةُ تقطيعًا قويًّا وحوافًا قاطعة على طول خط الفك.



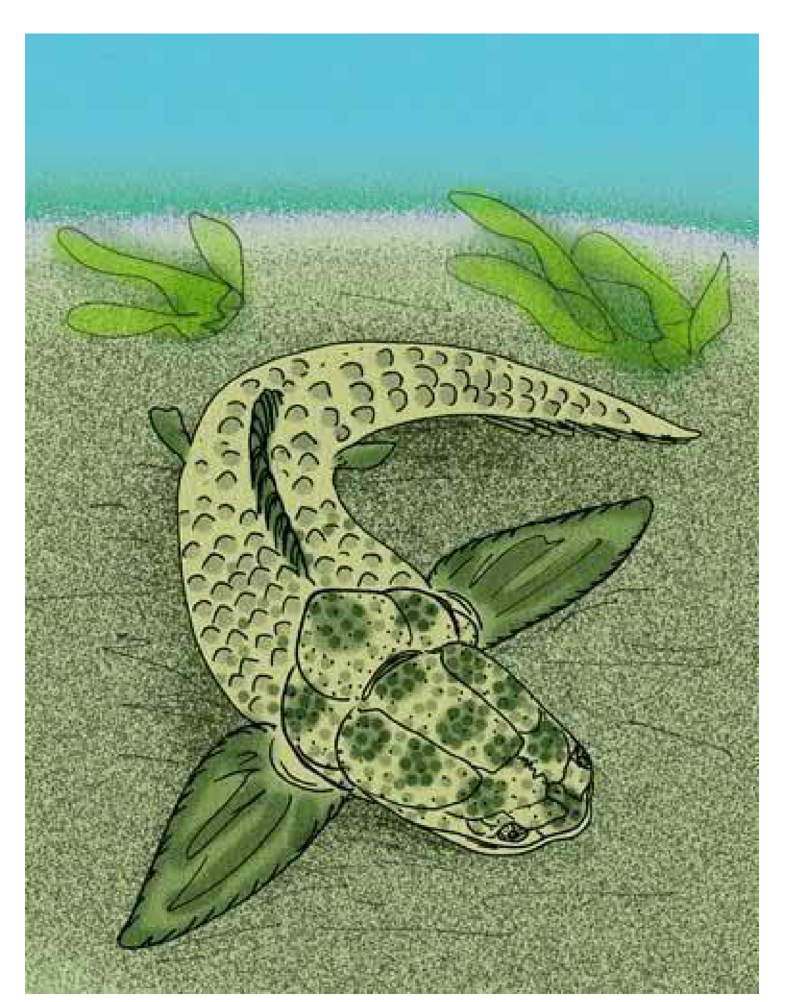
كانت الـArthrodires [ذوات الرقبة المزودة بمفصل بين الدرع المحيط بالرأس وبين الجسم] أسماكًا قوية انسيابية، لكن ربما حد الوزن الكبير لدروعهن وأشكال أجسادهن المسطحة في العموم من فعالية أدائهن للسباحة. ساعدَتْ زعانفُ صدريةٌ كبيرة على الثبات ووفرت رفعًا للرأس المصفح الثقيل. كان المفصل بين درع الرأس والجِذْع متطورًا جيدًا. كان يمكن رفع الرأس باتجاه الأعلى فوق ذلك المفصل بينما يهبط الفك السفلي في نفس الوقت، فاتحًا فجوةً كبيرةً لصيدٍ فعَّال (الصورتان ٧- ١٤، ٧- ١٥)، وربما ساعد على تدفق الماء من خلال الخياشيم. كانت الـArthrodires الأسماك المهيمنة في العصر الديڤوني، وتضمنت أقوى المفترسين الخاصة بذلك الزمن. كان انتشارهن على مستوى العالَم، في كلٍّ من الماء المالح والعذب. تتضمن الأسماك الضخمة ذوات مفصل الرقبة سمكةَ Tityosteus، أكبر سمكة معروفة من العصر الديڤوني المبكر، والتي كان طولها 5 .2 مترًا (٨ أقدام). لكن Tityosteusصارت قزمةً مقارنةً بسمكة المياه العذبة Heterosteus في العصر الديڤوني الأوسط وبسمكة الدنكليةDunkleosteus في العصر الديڤوني المتأخر، فكلاهما نمى حتى طول ٦ أمتار (٢٠ قدمًا).



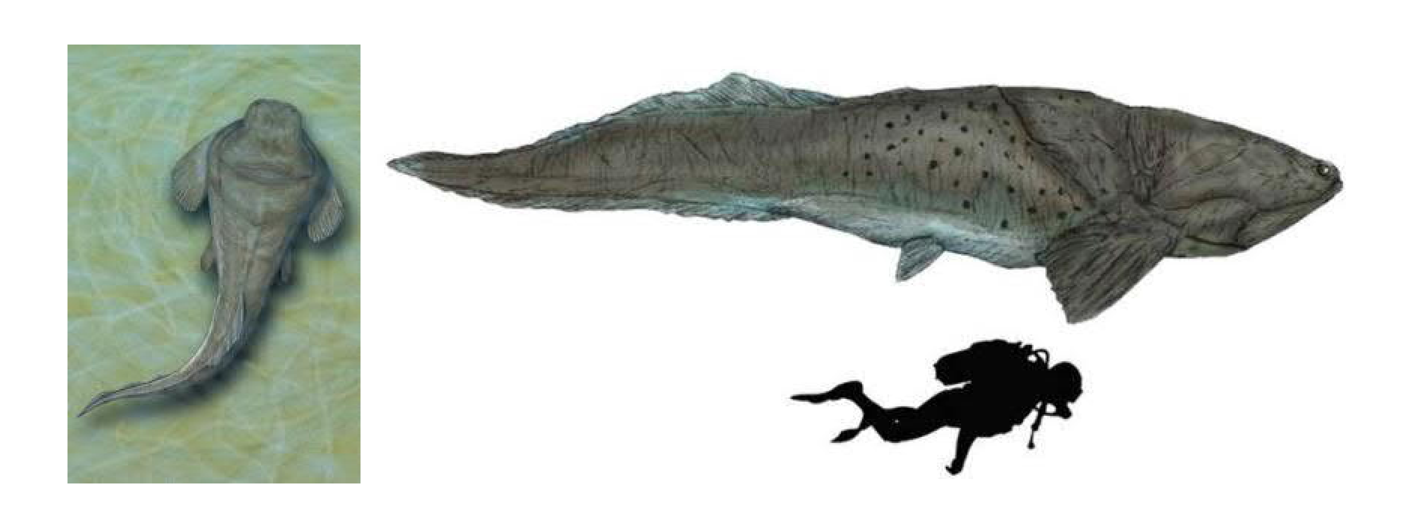
الشكل ٧- ١٥ رسم رأس Dunkleosteus السمكة الدنكلية، يُظْهِر كيف ينفرج فكَّاه باتساع. أمكن للرأس أن يتعلق على مفصل خاص عند مؤخرة الجمجمة، بينما يهبط الفك السفلي في نفس الوقت، فاتحًا فجوةً كبيرةً.



بعض صور أنواع مصفحات الجلد كما أعيد بناء أجسادها.

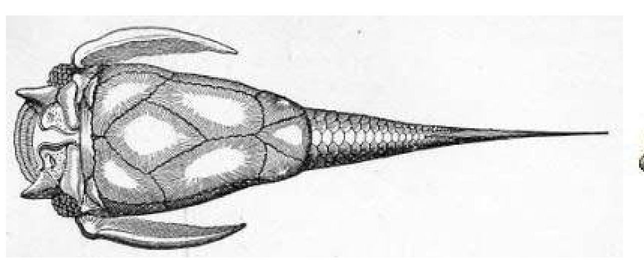


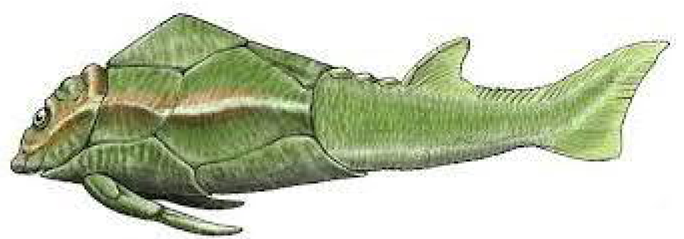
Tityosteus rieversi



Heterosteus

أما الـAntiarchs [Antiarchi نوع مدرع بتدرع ثقيل] فكانت أكثر تخصصًا بكثيرٍ وأصعب فهمًا، لكن هذه "الحيوانات الضئيلة الغريبة" (كما وصفها عالم أحياء عتيقة ومتحجرات شهير) كانت ناجحة على مستوى العالَم، في الأكثر في بيئات الماء العذب. لقد كن صغيراتٍ، برؤوس مدرَّعة تصل إلى طول ٥٠ سم (بوصتين) وطول أقصى معروف [للجسم] يزيد عن المتر فقط (٣ أقدام). كانت دروع رؤوسهن مسطَّحة في اتجاه قاع البحر، وذوات عينين متقاربتين على أعلى الرأس المدرَّع. كان الفم يقع تحت الخطم مباشرةً. وكان درع الجسد طويلًا. وبدلًا من الزعانف الصدرية، امتلكت الـantiarchs لواحقَ متمفصلة طويلة بدت كما لو كانت تُسْتَعْمَل لدفع السمكةِ على قاع البحر بدلًا من السباحة (الصورة ٧- ١٦). امتلكت الـantiarchs أفواهًا صغيرةً وعلى الأرجح أكلن الطينَ، شاغلين دورًا إيكولُجِيًّا أخذته من قبلُ الأسماك عديمة الفك الأقدم. إنه لواضحٌ أنهن كان سابحاتٍ بطيئات وثقيلات الحركة حقًّا.







الشكل ٧- ١٦ السمكة الـantiarch المسماة باسم Pterichthys أو السمكة جناحية شكل الزعنفتين كان لها درع رأس مرتفع، وبدت حقًّا شبيهة سمكة صندوق boxfish حية معاصرة (ملحوظة: يتميز جسم أسماك الصندوق أو الأسماك الصندوقية بدرع عظمي مكون من عظام سداسية الشكل يغطيها ، له فتحات للفم والعينان والخياشيم والزعانف والشرج. يمكن أن يكون الدرع أملسا أو متعرجا خشنا).

تطورت مصفحات الجلد عند بداية العصر الديڤوني وانقرضت عمليًّا بنهايته، رغم أنها سادت في الزمن المتخلل بين ذلك. يبدو واضحًا أنهم قد أعاقَهن آخر الأمر وزن دروعهن، ولم يتغلبوا قط على مشكلة تحقيق المناورة الرشيقة في الماء. لقد حلَّت الأسماك الغضروفية والأسماك العظمية _كلٌ من الفريقين بطريقته_ المشكلة ويَسُدْنَ الآن على مجتمعات الحياة السمكية الحية.

الأسماك الغضروفية (القروش وأسماك الحصيرة أو الشفنين)

تمتلك القروش وأسماك الحصيرة _وكل أسلافهن اللاتي أمكننا تحديدهن امتلكنَ_ هياكل غضروفية بدلًا من عظمية. هذا التمايز يعود تايخيًّا إلى العصر الديڤوني المبكر، عندما كانت هذه المجموعة من الأسماك مجرد مجموعة واحدة من خطوط التحدر الناجحة المبكرة التي كانت قد طورت فكوكًا مؤخرًا.

إن سجل المتحجرات الخاص بالقروش وسمك الحصيرة هزيل، لأنهن نادرًا ما يُحْفَظْن على نحو جيد كمتحجراتٍ. فهن يمتلكن غضاريفَ بدلًا من عظام، وجلد قاسٍ بدلًا من قشور درعية ثقيلة. إنها تمتلك حقًّا أسنانًا مرعبة هائلة، والتي كثيرًا ما تُحفَظ جيدًا كمتحجراتٍ، لكن الأسنان وحدها تعطي فكرة مبهمة عن كامل السمكة. من آنٍ إلى آخرَ يُمَكِّنُنا اكتشافٌ نادرٌ لمخطط جسدي من معرفة أن القروش لم تتغير بقدر كبير في شكلها الجسدي العام أثناء تطورها (الصورة ٧- ١٧).

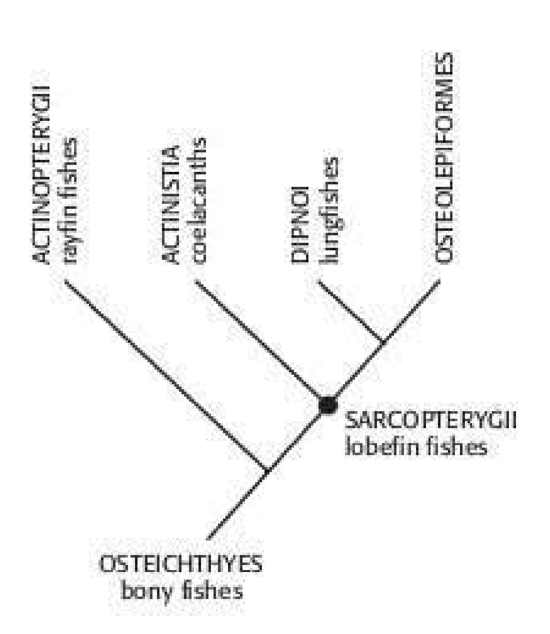


الصورة ٧- ١٧ مكننا اكشاف استثنائي من هذه الإعادة لبناء متحجرة سمكة القرش Akmonistion ويُعرَف كذلك بـStethacanthus [القرش ذي الزعنفة المتخذة لشكل سندان الحدّاد والشوكة]، من العصر الكربوني. إن شكلها مشابه على نحو ممتاز للكثير من القروش الحية المعاصرة، ما عدا البنية أو التركيبة الظهرية البارزة التي تترافق في بيولجية القروش المعاصرة مع التزاوج. تبدو الأسنان كأسنان ساحقة عوضًا عن أن تكون أدواتِ تقطيعٍ.

تمتلك القروشُ رؤيةً وحاسة شم وحسًّا كهربائيًا ممتازِين، يتحد كلٌ منها ليجهزهن على نحو جيد للصيد في كل أنواع البيئات. إنها تقوم بالتلقيح الداخلي، وبعضها تلد. إنها بالتأكيد ليست بدائية. إن القروش ببساطة مجموعة من الأسماك التي "اكتشفت" [أو صادف تطورها] طريقة ناجحة للحياة منذ عدة مئات ملايين من السنوات الماضية.

الأسماك العظمية

تطورت الأسماك العظمية وتشعبت سريعًا للغاية في العصر السيلوري المتأخر والعصر الديڤوني المبكر لدرجة أننا نمتلك متحجرات قليلة جدًّا لأشكالها الأقدم. فما إن نرَها تقريبًا [في سجل المتحجرات]، فإنها تنقسم إلى مجموعتين رئيسيتين: شعاعيات الزعانف ولحميات الزعانف (المخطط التطوري ٧-١٨). إن مجموعات الحياة الحيوانية السمكية الهامة في التشعب المبكر جدًّا للأسماك العظمية قد اكتُشِفَتْ مؤخرًا في جنوبي الصين، والتي كانت بمثابة قارة صغيرة معزولة في ذلك الزمن. سوف تعطينا المتحجراتُ من تلك المنطقة على الأرجح معلوماتٍ أكثرَ خلال السنوات القلائل القادمات.



OSTEICHTHYES (bony fishes)
الأسماك العظمية، وتتشعب إلى:

ACTINOPTERYGII (rayfins)
أسماك شعاعية الزعانف، و

SARCOPTERYGII (lobefins)
لحميات الزعانف، وتتشعب إلى:
ACTINISTIA (coelacanths)
مجوفات العظام
DIPNOI (lungfishes)
الأسماك الرئوية
OSTEOLEPIFORMES
الأسماك ذوت القشور العظمية

الشكل ٧- ١٨ تصنيف محل خلاف ومخطط شجرة تطورية للأسماك العظمية. الأسماك قشرية العظام لم يوضع بجوارها رمز الانقراض لأن لها متحدرين أحياء (كل رباعيات الأقدام، بما في ذلك البشر).

الأسماك شعاعية الزعانف

تمتلك الأسماك شعاعية الزعانف زعانف رقيقة جدًّا والتي هي ببساطة أنسجة أو شبكات من الجلد تدعمها عظام عديدة رقيقة متشعبة (تُعرَف بالعظام الإشعاعية). في المعتاد، فإن الأسماك شعاعية الزعانف أسماك ذوات أجسام خفيفة تسبح بسرعة وتُناوِر على نحو جيد جدًّا.إنها تسود على بيئات الماء

البحري والعذب في العالَم منذ اضمحلال مصفحات الجلد عند نهاية العصر الديڤوني. إنه لمُغرٍ اقتراحُ أن نجاحهن التطور في معظمه يعكس [وبسبب] سيادتهن على وإجادتهن للسباحة والتغذية في الماء المفتوح.

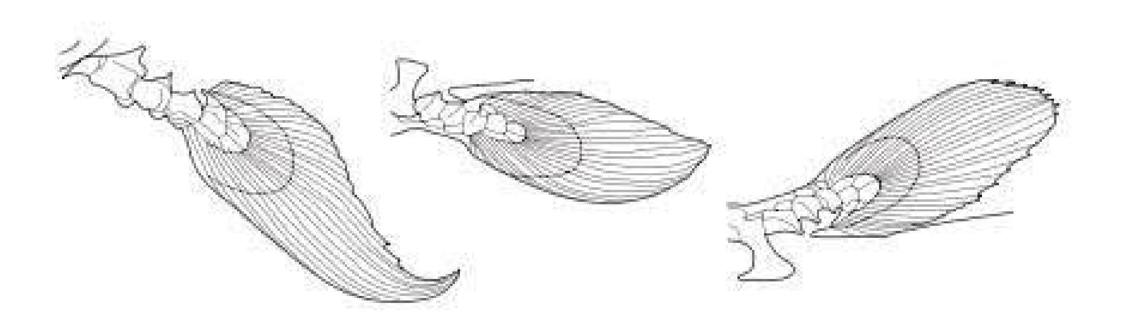
في العموم، فقد أدى تطور الأسماك شعاعية الزعانف إلى تخفيف وزن الهيكل العظمي والدرع القشري، وكلا الأمرين حسَّنَ القدرةَ على الحركة. أدّت زيادةُ التعقيد والتنوع في شكل وترتيب الزعانف المزدوجة إلى أنماط أو نماذج كانت هي الأمثلَ للعدّائين أو الطوّافين أو المراوغين البارعين. في معظم شعاعيات الزعانف المتقدمة اعتمدت السباحةُ أكثرَ فأكثرَ على الزعنفة الذيلية بدلًا من تثنّي الجسد، بينما عُدِّلَت الزعانفُ الأخرى إلى أدوات توجيه و/ أو أشواك دفاعية. حتى الأسماك الطائرة تطورت في العصر الترياسي.

لقد عُدِّلَتْ فكوك وجماجم شعاعيات الزعانف تدريجيًّا باتجاه الخفة والفاعلية. وعلى وجه الخصوص، مكَّنَتْ الأنظمةُ المعقدة للروافعِ والبكراتِ الأسماكَ المتطورة من مهاجمة الفرائس بفاعلية أكثر بمد الفكين إلى الأمام بينما يُغلَقان. نفس النظام يُمكِّن أيضًا من طرقٍ أكثر فاعليةً للارتعاء والتقمم والالتقاط والطحن والقضم، كل ذلك شجَّعَ على التطور الهائل للأسماك الحية المعاصرة.

لحميات الزعانف

الأسماك لحمية الزعانف متميزة كمجموعة منفصلة لأنها طورت أزواجًا عديدةً من زعانفَ أقوى من أيٍّ مما يوجد في الأسماك شعاعية الزعانف. تؤكِّد اختلافاتٌ أخرى في القشور وبنية الجمجمة التطورَ المنفصلَ لهذه المجموعات. لقد انفصلت مبكرًا منذ زمن التخم السيلوري/ الديڤوني. عُثِرَ على متحجراتٍ من جنوبي الصين لأسماك لحمية الزعانف أوليّة، رغم أنها ليست متطورة كثيرًا عن الأسماك العظميّة الأَوَلِيّة. تعود نشأة كل المجموعات اللحمية الزعانف الرئيسية إلى العصر الديڤوني المبكر، وكانت في ذلك الزمن متشابهة بشكل وثيق. لقد تباعدت واختلفت أثناء العصر الديڤوني في الشكل والبنية والإيكولُجيَّة إلى ثلاث فروع تطورية: مجوفات العظام coelacanths، والأسماك الرئوية، ومجموعة تُعرف بعظمية القشور osteolepiforms والتي تتضمن أسلافَ كل رباعيات الأقدام، بما في ذلك نحن (مخطط الشجرة التطورية في الشكل ٧- ١٨).

الجزء المركزي أو الفص للزعنفة اللحمية [أو الفصية] قوية متينة وتحتوي على سلسلة من العظام القوية، بينما كان للحوافِّ عظام شعاعية متشعبة كما في الأسماك شعاعية الزعانف (الشكل ٧- ١٩). يجب أن تَضْرِب الزعنفة اللحمية أبطأ من الزعنفة الشعاعية في نفس المنطقة لأن لها كتلةً أكبر يلزم مسارعتها أو إبطاء سرعتها، لكن الضربة الناتجة أكثر قوةً. علاوة على ذلك _وهو أمر أساسي لتاريخ الفقاريات اللاحق_ فإن الزعنفة اللحمية التي تمنح ضربةً قويةً في الماء يجب أن تمتلك نوعًا ما من الدعم عند قاعدتها، تمامًا كما ينبغي أن يُثبَّتَ المجذاف في مسند المجزاف. بالتالي، تمتلك الأسماك لحمية الزعانف أنظمة داخلية من العظام والعضلات والتي تساعد على ربط الزعنفة اللحمية الظهرية وزوجي الزعانف البطنية بباقي الهيكل العظمي (الشكل ٧- ١٩). تطورت الروابط البطنية لتصير الحزامين الصدري والحوضي في الفقاريات البريّة، لكنْ بالتأكيد لم يكن هذا سبب تطورها؛ بل تطورت في الأصل لتُمَكِّنَ الأسماك اللحمية الزعانف المبكرة من السباحة بفاعلية أكثر. تبدو كل لحميات الزعانف التي عاشت في العصر الديڤوني سابحات ومفترِسات فعّالة.
لا تزال بعض أنواع الأسماك الرئوية ومجوفات العظام coelacanths تعيش، لكنْ فقط كأسماك نادرة وفريدة غير اعتيادية. لا يزال نوعان من مجوفات العظام على قيد الحياة كمجموعتين سكانيتين صغيرتين، ويعيش نوع واحد من السمك الرئوي في كلٍّ من القارات الجنوبية الثلاثة: أستراليا، وأمِركا الجنوبية، وأفريقيا. كل تلك الأسماك اللحمية الزعانف لها بيولُجيَّة وإيكولُجيَّة غير اعتيادية بحيث أنها يجب فهمهما بحذر. فقد تطورت كثيرًا عن أسلافها الديڤونية في البُنيَة والعادات، لذلك فربما لا يكن مرشدات جيدات لبيولُجيَّة أولئكَ الأسلاف.



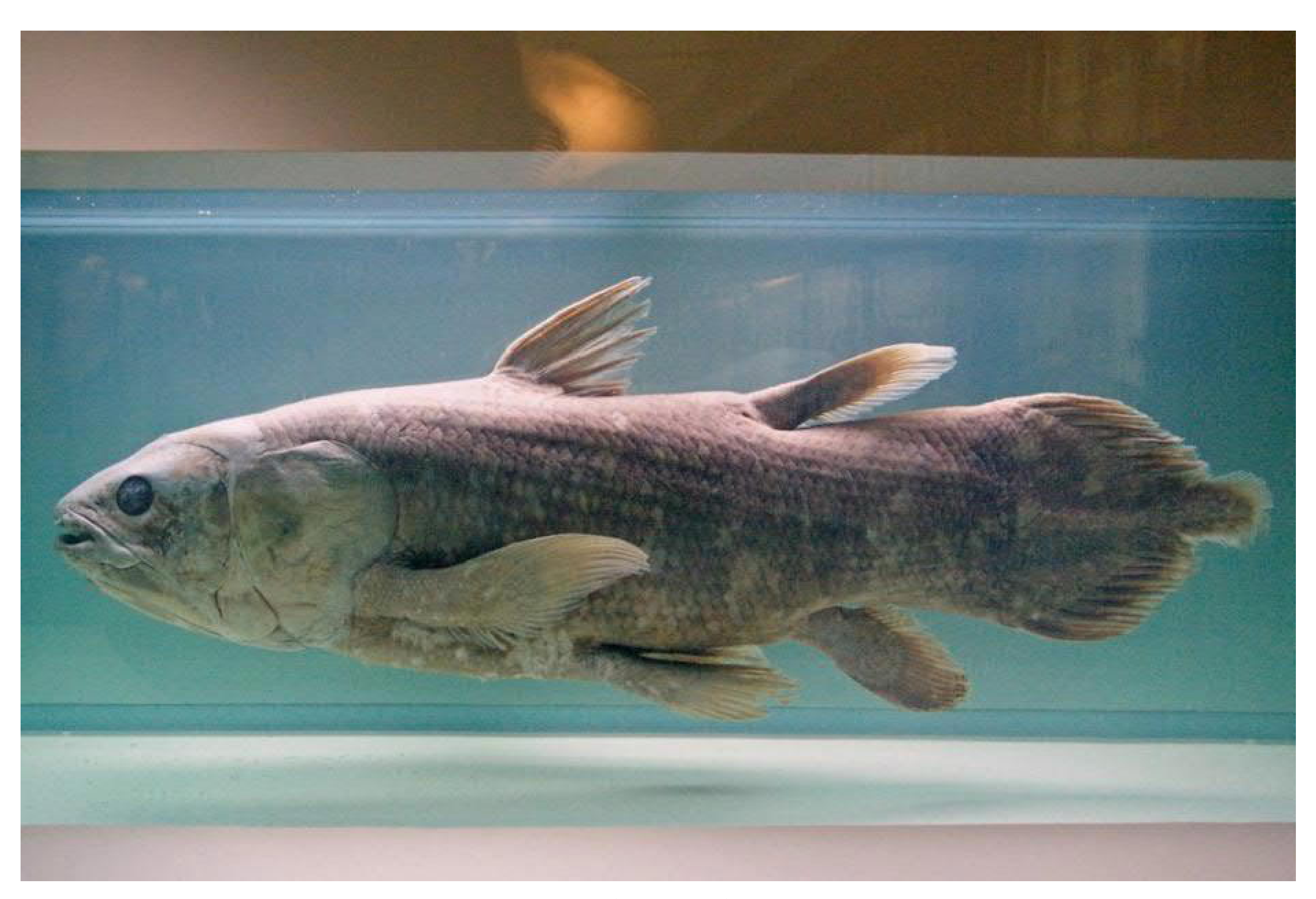
الشكل ٧- ١٩ من اليمين إلى اليسار: الزعنفة البطنية الأمامية، والزعنفة البطنية الخلفية، والزعنفة اللحمية الظهرية الخلفية للسمكة مجوفة العظام Latimeria. إن الزعنفة الأمامية أي الصدرية أكبر بكثير من الزعنفتين الأخريين، لكن الزعنفة الظهرية الخلفية بنفس حجم نظيرتها البطنية ولها هيكل عظمي داخلي بنفس القوة بالضبط.

مجوفات العظام أو الأشواك coelacanths

اكتُشِفَتْ سمكة مجوفة العظام حية _تُدعى بـLatimeria [أو اللاتيميرية نسبة إلى السيدة Courtenay Latimer التي كانت عاملة في متحف شرق لندن وساهمت في الأبحاث عن هذه السكة] (الشكل ٧- ٢٠)_ على نحوٍ غير متوقع عام ١٩٣٨م. لقد كانت الأسماك مجوفة العظام معروفة كمتحجرات لعقودٍ، لكنْ كان يُعتقَد أنها انقرضت بعد العصر الطباشيري. إننا نعلم الآن أنها نادرة، وعلى الأرجح معرضة لخطر الانقراض، وتعيش في مياه باردة أو عميقة بعيدًا عن الشاطئ الشرقي لدولة جنوب أفريقيا، وفي موقعٍ إندونيسيٍّ واحد على الأقل. إن مجوفات العظام الحية المعاصرة تسبح بكسل، ولا تمتلك رئاتٍ. تحمل الإناثُ أطفالًا [فروخًا] أحياء [تلدهم]، حوالي ٢٦ فرخًا في المرة، والذين يتنمُّون جنينيًّا داخليًّا من بيضٍ مُحّيٍّ [أغلبه صفار] جدًّا.



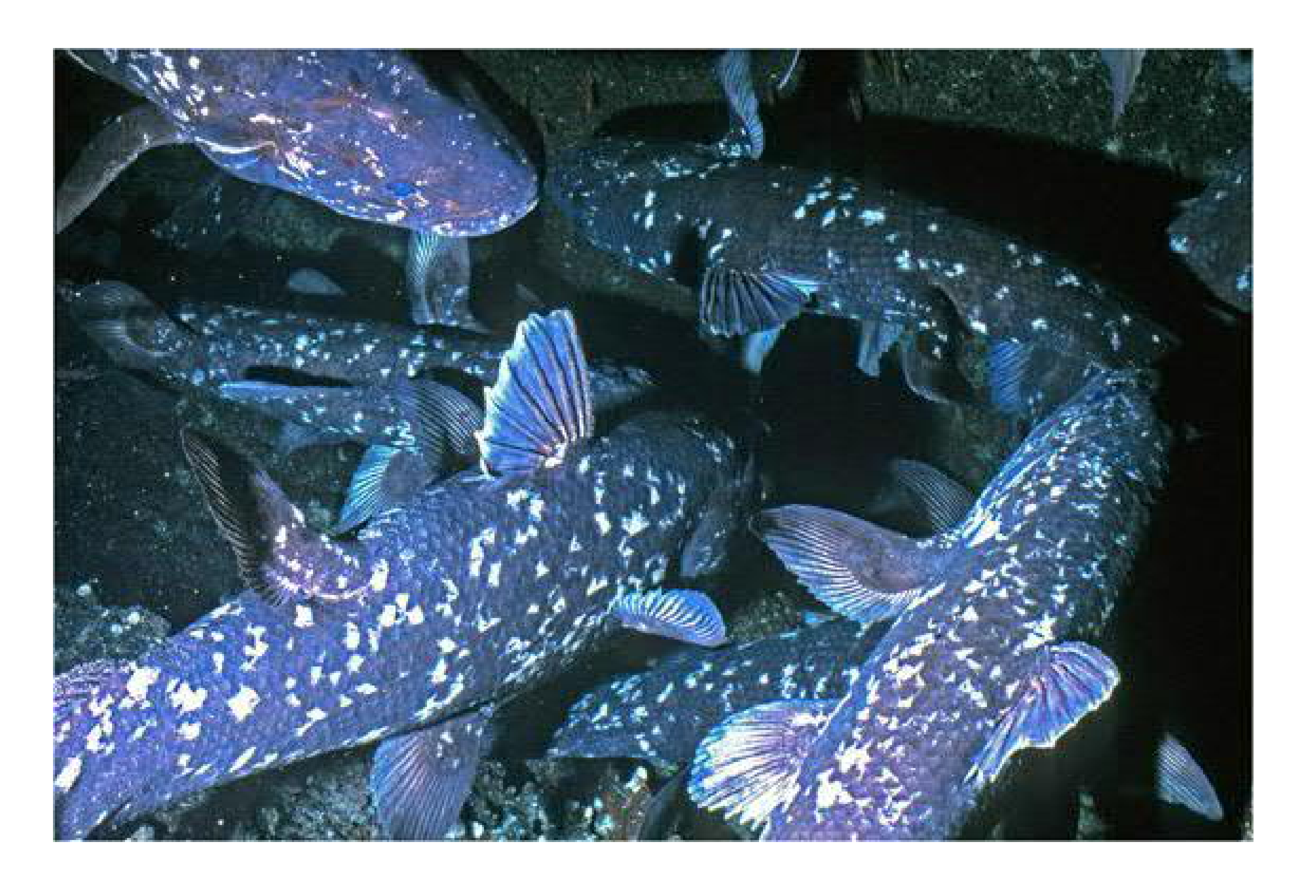
الصورة ٧- ٢٠ السمكة مجوفة العظام Latimeria chalumnae. هذا هو النوع الجنوب أفريقي، وليس النوع الإندونيسي المكتشف حديثًا.



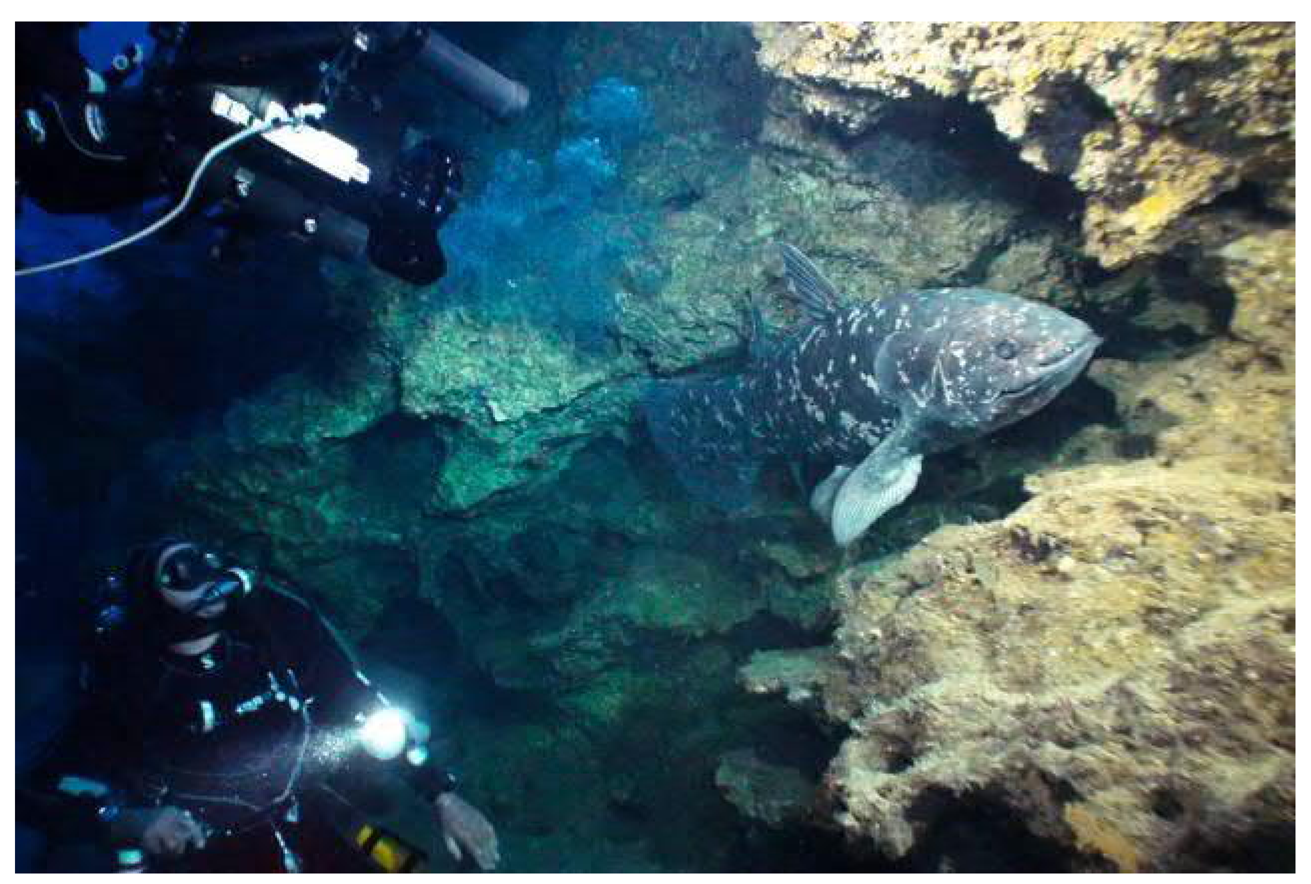
عينة محنطة محفوظة في باريس


© Mark Erdmann


(c) Peter ScoonesGetty Images







بعض الصور النادرة لللاتيميريّات حية تمكن المصورون من تصويرها تحت الماء

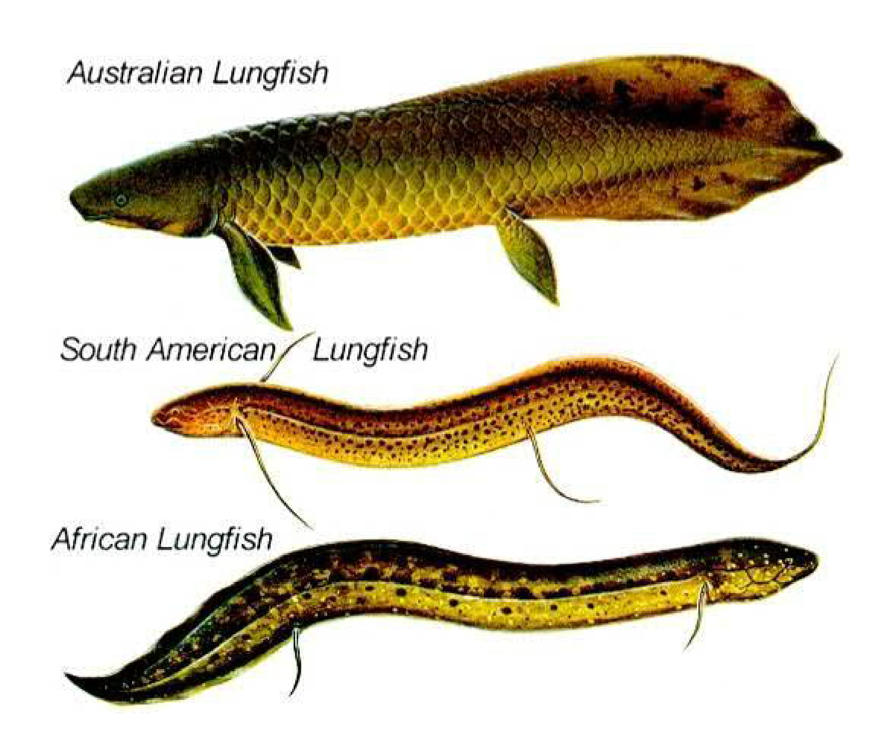


الأسماك الرئوية

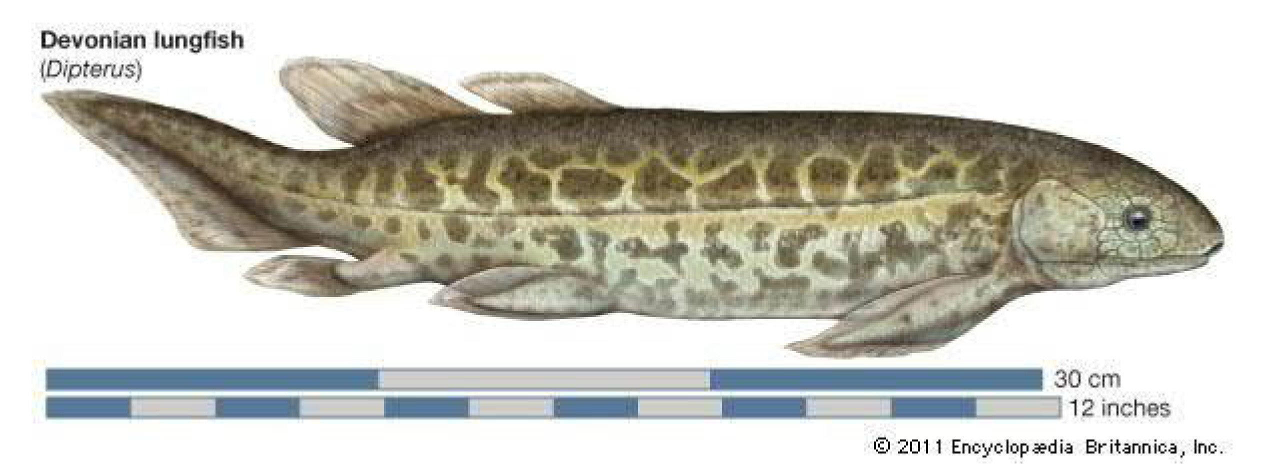
الأسماك الرئوية الحية المعاصرة متوسطة الأحجام، طويلة الأجساد، توجد في بحيرات الماء العذب الموسمية والأنهار في المناطق الاستوائية. يبدو أنها متطورة للسباحة البطيئة يقينًا. تستطيع الأسماك الرئوية _أو الديبنوي Dipnoi_ تنفسَ الهواء، مما يمكنهن من النجاة في فترات الجفاف أو انخفاض الأُكْسُجِن في البحيرات الموسمية والأنهار في المناخات الاستوائية. لا تزال الأسماك الرئوية على قيد الحياة على الأرجح في العصر الحالي لأنها تستطيع تحمل بيئات كانت لتقتلَ معظمَ الأسماكِ الأخرى. تستطيع السمكة الرئوية الأفريقية تحمل حتى موسم جفاف يجف فيه النهرُ الذي تعيش فيه. إنها تحفر جحرًا، وتُغلِق على نفسها فيه، وتبيت بياتًا صيفيًّا [تتصيَّف] (تحول التمثيل الغذائي لجسدها إلى مستوىً منخفض جدًّا) حتى يرسل الموسمُ المطيرُ الماءَ إلى النهر وإلى الجحر، مُنْعِشًا إياها.




Dipnoi



لقد تطورت الأسماك الرئوية بدرجة كبيرة إلى تشريحها وبيولُجيَّتها وإيكولُجيَّتها الحاليّة. كانت أوائل الأسماك الرئوية أسماكًا بحرية، وبدت كما لو كانت سابحاتٍ أكثرَ نشاطًا من متحدِّراتها الحية المعاصرة (الصورة ٧– ٢١). تحدرت الأسماك الرئوية من فرع تطوري خاص بأسلاف من العصر الديڤوني طوَّرَ القدرةَ على الحياة في الماء العذب، حيث طورن تغيراتٍ في الأسنان والفكوك والتي تدل على تحول في التغذية من التغذي على الأسماك الأخرى إلى التغذي على الرخويّات والقشريّات، حيث تمتاز الأشكال الحية بامتلاك أسنان مسطحة الشكل مثل الصفائح، لسحق الفرائس. طورت الأسماك الرئوية المبكرة أيضًا طريقةً للتعامل مع [مواسم] الجفاف لم تتغير كثيرًا أيضًا، كما يبدو. فقد وُجِدَت متحجراتُ الأسماك الرئوية من العصر الكربوني في جحور منذ ٣٠٠ مليون سنة ماضية.



الشكل ٧– ٢١ الأسماك الرئوية التي تعود إلى العصر الديڤوني _مثل سمكة Dipterus [يعني اسمها ذات الزعنفتين الصدريتين] المرسومة هنا_ كانت أكثر نشاطًا من متحدراتها الحية المعاصرة.

من متحجرات Dipterus

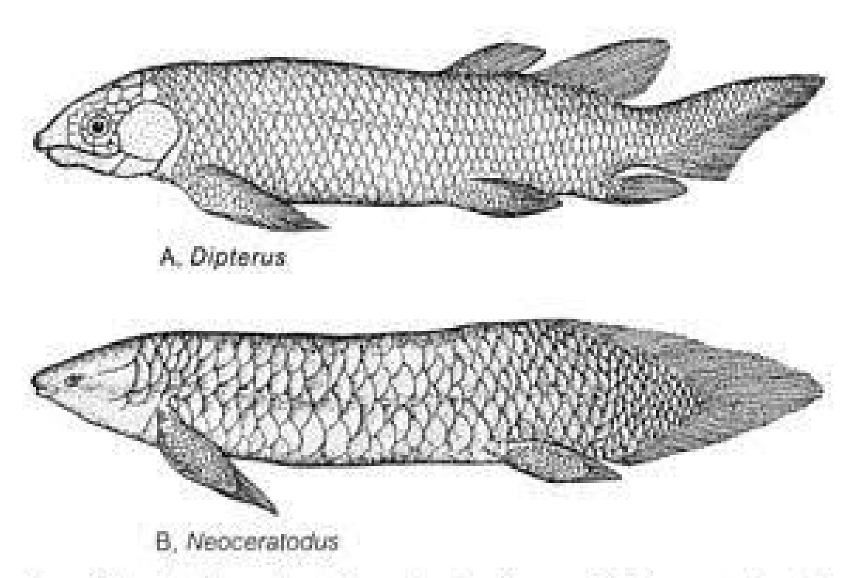


Figure 30. Lungfishes. *A*, An ancient Devonian fossil type; *B*, *Neoceratodus* of Australia. The median fins have changed greatly during the history of the group. (*A* after Traquair; *B* after Dean.)

ذوات القشور العظمية Osteolepiforms

ذوات القشور العظمية هي مجموعة أخت تطورية للأسماك الرئوية (الشكل ٧– ١٨). إن الاسم والتصنيف القديم لها كـ rhipidistians لا يتلاءم مع المعايير الحديثة للدقة التصنيفية وفقَ مفهوم الفروع التطورية [تتضمن rhipidistians حاليًّا الأسماك الرئوية ورباعيات الأقدام، وكانت تتضمن في التصنيف القديم المبطل Osteolepiforms عظميات القشور وPorolepiformes] تتضمن عظمياتُ القشورِ أسلافَ الفقاريات السائرة على البر، وستُدْرَس بتفصيلٍ أكثر في الفصل الثامن.

بينما كانت مصفحاتُ الجلدِ الأسماكَ السائدةَ في العصر الديڤوني، على الأقل من جهة الحجم، فإن عظميات القشور والأسماك لحمية الزعانف الأخرى كانت أكثر نجاحًا في المياه الضحلة حول الشواطئ وفي المياه الواقعة داخل الأراضي [البعيدة عن البحار كالبحيرات الداخلية]، لكنها لم تكن سائدة. بعد العصر الديڤوني صارت الأسماك شعاعية الزعانف أنجح المجموعات، بجمعها بين الخفة والقدرة على المناورة، بينما اقتصرت الأسماك لحمية الزعانف تدريجيًّا على عادات ومواطن غير اعتيادية. ربما خلال عملية الضغط الإيكولُجي هذه طورت عظميات القشور الخاصة بالعصر الديڤوني المتأخر تكيفاتٍ مكَّنَتْها من التوسع والانتشار في اتجاه غير متوقع، باتجاه الحياة في الهواء [على اليابسة].

الفصل الثامن

مغادرة الماء

تطورت النباتات واللافقاريات وآخرَ الأمرِ الفقاريات لتعيش على اليابسة في دهر الحياة القديمة الوسيط Paleozoic [حقبة من الزمن الجيولُجي بدأت من نهاية ما قبل الكامبري إلى نهاية الحياة المتوسطة Mesozoic، أو من ٥٩٠ إلى ٢٤٨ مليون سنة ماضية، ويشتمل على الدور أو العصر الكامبري والأوردوڤيتشي والسيلوري والباليوزي العلوي]. وقد كانت هناك مشاكل كبيرة في فعل ذلك (انظر المستطيل التلخيصي ٨- ١)، غير متصلة كثيرًا بسطح اليابسة بقدر ما هي متصلة بالتعرض للهواء. فالكثير من الحيوانات البحرية والنباتات تقضي حيواتها زاحفةً على قاع البحر، أو حافرةً الجحورَ فيه، أو تلتصق به. كمادة أو قِوام فيزيائي، فإن سطح اليابسة ليس مختلفًا جدًا. لكن الكائنات المتعضِّية البريّة لم تعد مطمورة في المياه، وهناك نتائج متوقَّعة لهذه النقلة التطورية المُتضمَّنة، والكثير منها يقوم على قوانين الفيزياء والكيمياء.

تزن الكائنات المتعضية أكثرَ في الهواء بدون تأثير الطفو الخاص بالماء، لذلك فإن الدعم [دعم الجسم] مشكلة كبيرة. قد يكون الهواء رطبًا جدًّا [أحيانًا]، لكنه لا يمكن أن يكون مُشْبَعًا باستمرارٍ، بالتالي فالكائنات العائشة في الهواء يجب أن تجد طريقةً لمقاومة التجفيف. الكائنات المتعضية الضئيلة على وجه الخصوص حسَّاسة للتجفف في الهواء، لأنها تمتلك نسبيًّا وبالمقارنة مناطق سطحية كبيرة لكنها لا تستطيع الاحتفاظ بمخزونات كبيرة من السائل. لذلك فإن المراحل التكاثرية والمراحل الصغيرة الناشئة للنباتات والحيوانات حسَّاسة جدًّا للتجفف. والدرجات المتطرفة للحرارة أكبر بكثير في الهواء مما هي عليه في الماء، مما يعرّض النباتاتِ والحيواناتِ للحر والبرد. يتصرف الأكسجن وثاني أكسيد الكربون على نحو مختلف كغازات عما يفعلان عندما يذوبان في الماء، بالتالي يجب أن تتغير أنظمة التنفس وتبادل الغازات في الهواء. معامل انكسار الضوء أقل في الهواء عما هو في الماء، وانتقال الصوت يختلف أيضًا، بالتالي فإن الرؤية والسمع يجب أنْ تُعدَّلَ في الحيوانات البرية.

هناك أيضًا نتائج إيكولُجيّة [متعلقة بطرق الاعتياش أو الأدوار البيئية وعلاقة الكائن مع البيئة والكائنات الأخرى فيها]. يحمل ماءُ البحرِ المواد المغذية المذابة، أما الهواء فلا يفعل ذلك، بالتالي فبعض الكائنات _خاصةً الحيوانات والنباتات الصغيرة_ لديها مشكلة في إمداد الطعام في الهواء. إنه لغيرُ مُرَجَّحٍ أن نفس مصادر الطعام [المتوفرة في ماء البحر] كانت ستكون متاحةً لحيوانٍ عَبَرَ مثلَ ذلك الحاجزِ الإيكولُجيّ الهام، بالتالي فإن اجتياحَ اليابسة كثيرًا ما ترافق مع تغيرٍ في نوع التغذية.

تَوَجَّبَ على كل التكيفات الكبيرة للحياة في الهواء أن تكون قد تطورت أولًا في الماء، كتكيفاتٍ للحياة في الماء. بعدها فقط صار ممكنًا للكائنات المتعضية أن تخرج إلى الهواء لفترات طويلة. يجب أن نعيد بناء تسلسل معقول للأحداث أثناء هذه النقلة التطورية، ثم نختبر أفكارنا في مواجهة الأدلة من المتحجرات والكائنات المتعضية الحية.

المستطيل التلخيصي ٨- ١ صعوبات في التكيف أو التعدُّل للحياة في الهواء

بالنسبة للنباتات والحيوانات:

لا طفو، لذلك هناك حاجة لدعم الجسد.
خطر التجفف
الدرجات القصوى للحرارة
الغازات تتصرف في الهواء على نحو مختلف
لا مواد مغذية في الهواء

بالنسبة للحيوانات فقط:

معامل انكسار الضوء يختلف
يجب تعديل السمع

أصل النباتات البريّة

ليس لدينا فكرة متى استعمرت النباتاتُ لأول مرة أسطحَ اليابسة. لا بد أن النباتات قد خرجت بالتدريج من الماء إلى الهواء وعلى اليابسة، ولا بد أن أول النباتات "البريّة" كان مائيًّا إلى حد كبير، معتاشًا في المستنقعات أو البِرَك.

إن كل صفات النباتات البرية تقريبًا هي حلول للمشاكل المصاحبة للحياة في الهواء [على اليابسة]. تنمو النباتاتُ البريّة ضد الجاذبية، لذلك فقد طورت دعائم بنيوية (الأُهَب أيْ: البشرات المتصلبة أو الخشب) أو قائمة على الضغط الهيدروستاتيكي [المائي السكوني] لمساعدتها على البقاء منتصِبةً. ولا يمكنها تحمل التبخر من الأسطح الرطبة، لذلك فقد طورت نوعًا من الغلاف المضاد لتسرب الماء. تجمع الجذورُ الماءَ والمواد الغذائيةَ من التربة وتعمل كدعائم ومراسٍ. توزِّعُ أنظمةُ النقل الداخلي الماءَ والموادَ الغذائيةَ ومنتَجات التركيب الضوئي خلال النبات. رغم ذلك، فإن كل هذه التكيفات عديمة النفع بالنسبة للنباتات البالغة ما لم تتكيف الدورة التكاثرية أيضًا مع التواجد في الهواء. يتطلب التلقيح التهاجني وانتشار حبوب اللقاح بفعل الهواء تكيفاتٍ في الهواء. لا بد أن كل هذه التكيفات قد تطورت في تسلسلٍ معقولٍ وتدريجي. لكنْ لأنَّ المراحل الأولى كانت نباتات مائية طرية الأجساد، فإنه يصعُب العثورُ لى سجل متحجراتٍ لهذه النقلة التطورية.

السيناريو التالي لتطور النباتات البرية هو تعديل لاقتراحات John Raven. كانت النباتات قاطنة الماء _على الأرجح الطحالب الخضراء green algae_ متعددة الخلايا بالفعل من قبلُ. تنمو الطحالب الخضراء سريعًا في الماء الضحل، مغمورةً مستحِمَّةً في الضوء والمواد المغذِّية. قد يتصور المرء أن الخلايا في طحلب كبير تكون مستقلة نسبيًّا أحدُها عن الآخر؛ ففي الماء تكون كل خلية لها نوالٌ للضوء والماء والمواد الغذائية، ومصرفًا للفضلات. لكن الأجزاء الأسرع نموًّا من أوراق الطحلب تحتاج طاقةً أكثر مما تستطيع عملية البناء الضوئي أن تَمُدَّ به في موضعها، لذلك فقد طورت بعضُ الطحالبِ الخضراء نظامَ نقلٍ بين الخلايا المتجاورة لتحريك الغذاء سريعًا خلال النبات. لقد قامت بذلك لأنها من ثم تستطيع النمو بسرعة أكثر.

يبدأ سيناريو John Raven بالطحالب الخضراء المعتاشة في مواطنَ معرَّضة للجفاف المؤقَّت. ربما كانت الطحالب قد تطورت من قَبْلُ لنشر البويغات على نحوٍ أكثرَ فاعليةً بإطلاقها في الرياح بدلًا من الماء. إن البويغات _حتى في الطحالب_ مانعة للماء بشكل معقول ويمكن لها التكيف بسهولة للانطلاق في الهواء من أعضاء خاصة لتكوين بويغات (حاويات بويغات) تنمو عاليًا على نحوٍ كافٍ لأنْ تمتدَّ خارجَ الماء على الطرف المستدق الأقصى عُلُوًّا للنباتات المائية بخلاف أطرافها. عندما امتدت أنسجة النبات إلى الهواء ازداد البناء الضوئي لأن مستويات الضوء في الهواء أعلى مما هو عليه في الماء. علاوةً على ذلك، فإن CO_2 يسهُل أكثرَ استخراجه من الهواء عما يكون وهو في الماء.

عندما نمت النباتات خارج الماء في الهواء، فإن بعض الأنسجة لم تعد مغمورة في الماء الذي كان يوفر الموادَ الغذائيةَ ومصرفًا للفضلات. فصار نظام النقل الداخلي للسائل بين الخلايا متخصصًا ومتوسِّعًا. كان التركيب الضوئي متركِّزًا في الجزء الأعلى من النبات الذي كان متعرِّضًا لضوء أكثر. تقوم عملية التركيب الضوئي بتغيير CO_2، لذلك انبغى أن يكون هناك امتصاص مستمر له من الهواء. رغم ذلك، فإن خلايا النبات تكون مشبَعَةً بالماء، بينما الهواء ليس كذلك، بالتالي فإن نفس الأسطح التي تمتص CO_2 تفقد الماءَ تلقائيًّا، حيث تُسَخِّنُ أشعةُ الشمسِ النباتَ، حاثَّةً التبخرَ. احتيج إلى تعويض الماء المفقود بنقل الماء فوق الساق من الجذور إلى الخلايا القائمة بالتركيب الضوئي.

يُنْقَل الماء بفاعلية أكثرَ بكثيرٍ كسائلٍ أكثر مما عندما يكون بخارًا. طوَّرَتْ النباتات البرية المبكرة نظامًا بسيطًا للنقل بالأنابيب يُعرفَ بجديلة الخلايا المُوَصِّلة لنقل الماء إلى الأعلى. إن الجدائل المُوَصِّلة الموجودة في الأُشْنَاتِ [الطحالب mosses] قوية الفاعلية على نحوٍ كافٍ لمنع فقدان الماء في النباتات الصغيرة الوطيئة، لو كان ماء التربة وفيرًا. لكن الطحالب تجف سريعًا لو كان الإمداد بماء التربة ناقصًا به عجز.

بدأت النباتات البرية المبكرة في تطوير إهاب [بشرة أو قشرة متصلبة أو ميتة، طبقة شمعية] فوق الكثير من أسطحها العلوية المكشوفة للهواء. يساعد الإهاب النباتَ أثناء تعاقب ظروف الرطوبة والجفاف. ففي أوقات الرطوبة يعمل كمعطف مضاد للماء. فيمنع مكوث طبقة من الماء على النبات والتي يمكن أن تعيق امتصاص CO_2. وفي أوقات الجفاف يُغْلِق سطحَ النباتِ مانعًا خسارةَ الماءِ بالتبخر. ربما أضاف الإهابُ أيضًا قوة قليلة لسُوُقِ النباتات المبكرة، وقد ساعد شمعُهُ على حماية النبات من الأشعة فوق البنفسجية ومن المفصليات القاضمة.

لكن الإهاب أيضًا قلل من، ثم قضى على قدرة النبات على امتصاص المواد المغذية المحمولة في الماء من على سطح النبات العامّ، من قمة النبات إلى أسفله. كانت المواد الغذائية قد صارت تُمْتَص أكثرَ فأكثرَ من خلال الأجزاء السفلى من النبات، وصارت تحدث آخرَ الأمر على أسطح ممتصة متخصصة عند قاعدة النبات (وهي الجذور) والتي تطورت على الأرجح من السوق الممتدة على الأرض التي كثيرًا ما كانت قد استعملتها هذه النباتاتُ للتكاثر لا جنسيًّا. عندما نمت الجذورُ أكبرَ وأقوى ساعدَتْ على تثبيت ثم دعم النبات.

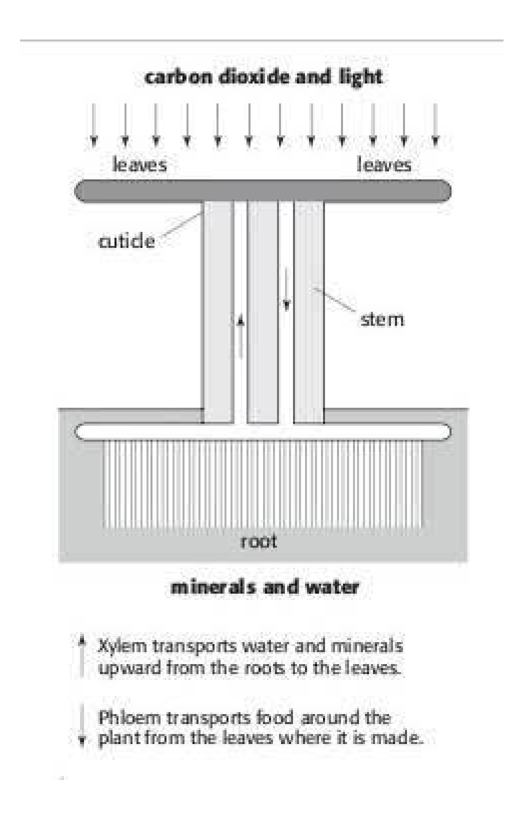
حافظ الإهاب على ثاني أكسيد الكربون المستوعَب فوق سطح النبات العام. عندما تطور الإهابُ، طَوَّرَتْ النباتاتُ أيضًا مسامًّا تُعرف بالمسام أو stomata حيث يمكن تركيز ثاني أكسيد الكربون الممتص. إن صار الطقس ساخنًا أو جافًّا للغاية، يمكن إغلاق المسام من خلال الخلايا الحارسة [أو الحُجَّاب] التي تتحكم في فقدان الماء. عندما صار امتصاصُ ثاني أكسيد الكربون مركَّزًا وموضعيًّا، طورت النباتات نظم نقل للغازات فيما بين الخلايا والذي يسير من المسام إلى المساحات ما بين الخلايا، مُحَسِّنًا تدفقَ ثاني أكسيد الكربون إلى الخلايا القائمة بالتمثيل الضوئي. اسْتُخْدِمَ نفسُ النظامِ أيضًا لحل مشكلة هامة على نحو متزايِد. فعندما كبُرَتْ الجذور، صار المزيد فالمزيد من أنسجة النبات ينمو في مناطق مظلمة حيث كانت عملية التركيب الضوئي مستحيلةً؛ لكن تلك الأنسجة احتاجت الغذاء والأكسجن. إن التُرْباتِ فقيرة الأكسجن O2 أو تفتقده، خاصة عندما تُغْمَر بالماء. إن نظام نقل الغازات الداخلي يُغذَّى بالأكسُجِنْ من الهواء ويصل خلال النبات وصولًا إلى جذوره، وأحيانًا عبر مساحات جوفاء كبيرة على نحو مثير للإعجاب.

طورت النباتاتُ اللاحقة الزَيْلَم xylem [الجزءَ الخشبيَّ من النبات، الأنسجة الخشبية]، وهو نظام مُحسَّنٌ للنقل بالأنابيب لأجل تدفق أفضل للماء من الجذور خلال كل النبات. الزَيْلَم مصنوع من خلايا ميتة مستطالة مرتَّبةً طرفًا بجوار الآخر لتُكَوِّنَ أنابيبَ طويلةً فوق وتحت ساق النبات. يَمْتَصُّ التبخيرُ عند أعلى النبات على نحو رئيسي الماء باتجاه الأعلى عبر الخلايا الميتة الفارغة. حتى زَيْلَم ضيق هزيل يستطيع نقل الماء أسرعَ بكثيرٍ مما يستطيع النسيج العادي للنبات، وحالما شَرَعَ تطورُ الزَيْلَم، فقد كان على الأرجح عمليةً سريعةً منحت النباتاتِ تحملًا أكبرَ للهواء الجاف. يحمل الزَيْلَم أيضًا موادًا مذابةً إلى الأعلى، وإنه مدخل الامتصاص الرئيسي ونظام النقل للمواد المغذية للنبات، خاصةً للفوسفات. تُدعى النباتاتُ التي تمتلك زَيْلَم بالنباتات الوعائية.

خلايا الزَيْلَم ميتة، لذلك فإن النقل اللحائي سلبي خامل، يديره بالكامل الامتصاصُ _أو الضغط السلبي_ الخص بالتبخر عند أعلى جزء من النبات. إن القوى المتولِّدة يمكن أن تكون كبيرةً جدًّا، لذا فإن الجدران الطويلة الضيقة لزَيْلَم قد تنزع إلى الانهيار باتجاه الداخل. صارت جدران الزَيْلَم مقوَّاة بجزي بنائي هو بوليمر الليجنين lignin. حالما تطور الليجنين، فقد استُعْمِلَ لاحقًا لتقوية الجذور والساق بينما نمت النباتاتُ أطولَ وأثقلَ. لاحقًا أيضًا صار الزَيْلَم عائقًا لمحاولة الحيواناتِ خرقَ وقضمَ أنسجةِ النبات.

عندما صارت النباتاتُ مستقطَبةً على نحوٍ متزايد، حيث تمتص الجذورُ الموادَ الغذائية والماءَ ويحدث البناء الضوئي في الأجزاء العُليا من النبات، فإن الزَيْلَم وأنظمة نقل الغازات قد تحسنت، لكن لم يكن أيٌّ منهما قادرًا على نقل السائل باتجاه الأسفل. حُلَّتْ هذه المشكلةُ بتطور نظام نقل آخر يُعرف باللحاء تطور من نظام النقل من خلية إلى أخرى الخاص بالطحالب الخضراء. تنقل خلايا اللحاء المواد المذابة خلال النبات بعمليةٍ لا تزال غير مفهومة على نحوٍ ملائم. يحمل اللحاءُ الموادَ الناتجة عن عملية البناء الضوئي من الخلايا القائمة بالبناء الضوئي إلى الأجزاء النامية مثل الأعضاء التناسلية والبراعم، وللأنسجة التي لا تستطيع صنع طعامها الخاص بها مثل الجذور.

خلال تلك العملية، فقد كانت الأفضلية التي شجَّعَتْ النباتاتِ على الامتداد والوصول إلى الهواء رغم الصعوبات المتضمَّنة هي الزيادة الهائلة في كم الضوء المتاح. إن النباتات البحرية محصورة في نطاق ضيق على طول الشواطئ حيث يلزم أن يخترق الضوء الماء المحمَّل بعكارة الرواسب والمخضخض بالأمواج. يُزيد النموُ فوقَ الماءِ من توفر الضوء. علاوةً على ذلك، أدَّى التنافسُ على الضوء المتاح إلى تشجيع نمو أكثر لأنسجة النباتات فوق سطح الماء، وتكيفاتٍ أكثرَ فاعليةً للحياة في الهواء [على اليابسة] (الصورة ٨– ١). حالما استطاعت النباتات النموَ فوق طبقة الهواء الساكن قرب سطح الماء، أمكن للبويغات أن تُطْلَق في نسائم الهواء والرياح. كان الطول الأعلى للنباتات وتطور حاويات البويغات على أطراف الفروع كلاهما تكيفين لأجْل النشر الفعال للبويغات.



الشكل ٨- ١ التركيب الأساسي للنباتات البرية.
ينقل الزيلم [الجزء الخشبي من النبات] الماءَ والموادَ المعدنية باتجاه الأعلى من الجذور إلى الأوراق.
ينقل اللحاء الغذاء في خلال النبات من الأوراق حيث تُصْنَع.

أوائل مجموعات الحياة النباتية البريّة

توجد كل النباتات قبل العصر الديڤوني في رواسب بحرية أو شاطئية. لكن النباتات يمكن أن تُكْنَس في اتجاه مجرى الماء في الفيضانات وتودَع بعيدًا عن مَواطنِها. يمكن العثور على مفارش النبات الطافية في العصر الحالي بعيدًا عن مصب نهر أريزونا، أحيانًا بكاملها مع الجذور والتربة والرسابة. لذلك لا يدل السجل الأحفوري بالضرورة على أن النباتات قبل الديڤونية عاشت في البحر. (في الواقع، اقترح Raven أن الأنظمة التناضحية الخاصة بالنباتات البرية تدل على أنها تطورت في الأصل في مستنقعات المياه العذبة).

جاءت أبكر البوغيات التي انتمت إلى النباتات البرية من صخور العصر الأوردوڤيتشي (الصورة ٨- ٢). إنها تبدو مشابهةً لبويغات حشيشة الكبد [liverworts نبات طحلبي]، وهناك شظايا من آبائها النباتات محفوظة معها. تبدو البويغات اللاحقة من صخور العصر السيلوري كما لو كانت قد جاءت من نباتات أكثر تقدمًا (رغم أننا لا نستطيع تحديد من أي أنواعٍ هي). لقد كانت النباتات البرية في العصر الأوردوڤيتشي والسيلوري المبكر على الأرجح ضئيلة وضعيفة البنية، ويصعُب انحفاظها كمتحجرات. يقترح الدليل الجزيئي أن كل النباتات البرية الحية في العصر الحالي متحدرة من حشيشة الكبد (أو من نباتات شديدة الشبه بحشيشة الكبد)، لكن الدليل الجزيئي لا يمكنه إخبارنا أي شيء عن المجموعات المنقرضة من النباتات التي ربما كانت رائدة الحياة النباتية في الهواء [على اليابسة].



الصورة ٨- ٢ أحد أبكر بوغيات النباتات البرية، من صخور العصر الأوردوڤيتشي في ليبيا.

نباتات العصر السيلوري المتأخر والديڤوني المبكر

لا يُعْثَر على نباتات برية محفوظة جيدًا في صخورٍ أقدمَ من العصر السيلوري المتأخر. ورغم أن نبتة Aglaophyton [تعني باللاتينية الجميلة، وسميت تكريمًا لـ A. G. Lyon] تعود إلى العصر الديڤوني (الصورة ٨– ٣) فقد كان لها على الأرجح مرحلة تطورية أقدم تطورت في العصر السيلوري. لقد نمت إلى طول أقل من ٢٠ سم (حوالي ٨ بوصات). ورغم أنها امتلكت معظمَ التكيفاتِ المستلزَمة في النباتات البرية (الإهاب، والمسام، والفجوات الهوائية [الغازيّة] بين الخلايا)، فإنها لم تمتلك زَيْلَمًا [جزءًا خشبيًّا كمكوِّن]، بل مجردِ حزمة أنسجة توصيل بسيطة.



الصورة ٨– ٣ Aglaophyton، متحجرة وإعادة بناء نبتة برية مبكرة من صخور العصر الديڤوني في إسكتلندا، وقد كانت غير وعائية. وكان لها حزمة توصيل بسيطة لنقل الماء إلى أعلى الساق. وكانت تبرعم نباتات جديدة من شبيه الجذر عند قاعدتها.

تتضمن متحجراتُ العصر السيلوري المتأخر على نحو متأكد تقريبًا نباتات وعائية. لقد كانت نبتة Cooksonia [أو الكوكسونية، وسميت بهذا الاسم تكريمًا للمزارع وعالم النبات الهاوي Harold Cookson 1876–1969] (الصورة ٨– ٤) ذات طول بضع سنتيمرات ولها بنية بسيطة من سوق متفرعة على نحوٍ متساوٍ مع حاويات بويغات على الأطراف، وبدون أوراق. لكنها أيضًا امتلكت بنيوات مركزية كانت على الأرجح زَيْلَمًا [جزءًا خشبيًّا] بدلًا من مجرد حِزَمٍ توصيلٍ بسيطة. تمتلك الأنواع المتأخرة من الـCooksonia من العصر الديڤوني الأبكر حِزَمًا واضحةً من الزَيْلم [المكوِّن الخشبي] المحفوظ بالتحجر، وإهابًا ومسامًّا، بالتالي فقد امتلكت على الأرجح فجوات هوائية بين الخلايا وكانت أفضلَ تكيفًا للحياة في الهواء.

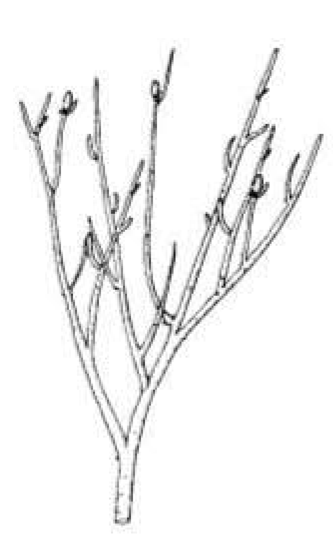


الصورة ٨– ٤ متحجرتان وإعادة بناء لمتحجرة نبتة Cooksonia، وهي نبتة برية وعائية مبكرة.

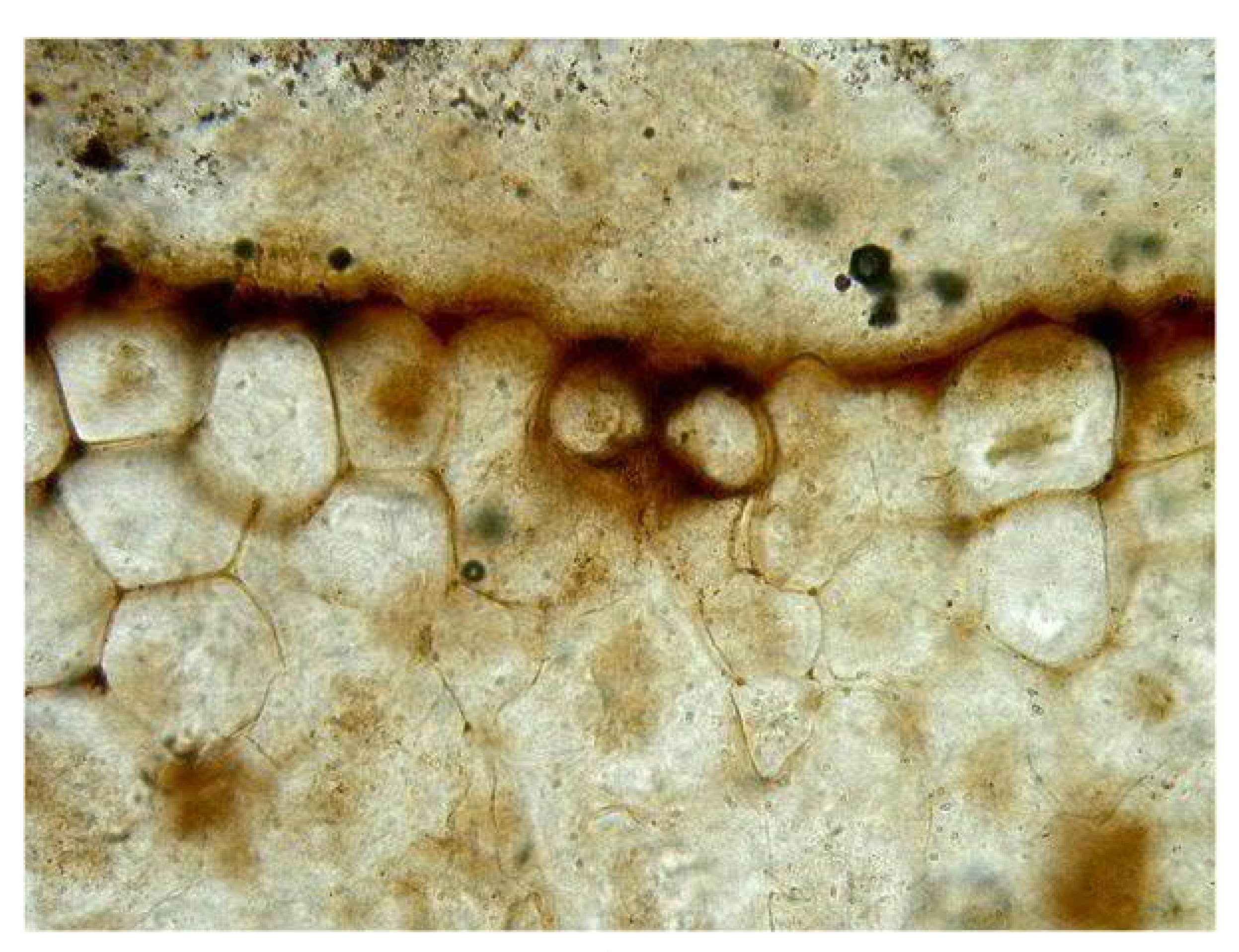
كانت النباتات البرية في العصر الديڤوني المبكر أكثر تنوعًا على نحوٍ دراميٍّ [كبير ومفاجئ]. ولقد نمت حتى طول متر واحد، رغم أنها كانت رفيعة (بقُطْر ١ سم). ولدعم الجسم فلا بد أنها قد نمت إما في الماء الراكد أو في مجموعات كثيفة، يساعدها على ذلك كونها تكاثرت في المعظم بنظم برعمة الجذرانيات rhizoids أو شبيهات الجذور [تراكيب في النباتات الأولية تحل محل الجذور، وظيفتها الأساسية تثبيت النبات في التربة] لأجْلِ التكاثر اللاجنسي الانتساخي، كما تفعل ثمار الفراولة اليوم (الصورة ٨– ٣). هذا النمط من التكاثر لا يعطي فقط دعمًا متبادلًا للسوق المفرَدة، من خلال الاجتياح، يمكن أن تقضي كمية مستنسخة من النباتات على الأنواع المنافسة. استطاعت نباتات كهذه النمو والتكاثر بسرعة جدًّا، وهي طريقة للإفلات من عواقب التكيفات الرديئة نسبيًّا للحياة في الهواء.

كانت نبتة الرَيْنِيَّة Rhynia_مثلها مثل Cooksonia_ نباتًا وعائيًّا حقيقيًّا. لقد منحت الرَيْنِيَّة rhynia اسمَها للرَيْنِيَّات rhyniophytes، وهي مجموعة منقرضة من النباتات الوعائية المبكرة. أما الليوكوبديَّات Lycopods [نوع من النباتات السرخسية الوعائية] فهي أسلاف الليوكوبديَّات المائية أو الأشنات الهراويّة أو الحزازيات الذنبية club–mosses، لكنها كوَّنَتْ أشجارًا وغاباتٍ في المستنقعات الفحمية الخاصة بالعصر الطباشيري. لا نزال لا يمكننا التعرف على التغيرات التطورية السريعة التي أدت إلى نشأة كل المجموعات الحية الأخرى الخاصة بالنباتات الوعائية.





الصورة ٨– ٥ Rhynia أو الرَيْنِيّة، إعادة بناء ومقطع عرضي لإحدى متحجراتها، وهي نبتة وعائية من العصر الديڤوني الوسيط، ذات زيلم [مكون خشبي] متطور على نحو جيد، وغشاء طلائي ومسامّ، عُثِر على متحجرتها في حجر صوان أو شرت Rhynie في إكستلندا، وقد منحت الرينية اسمها لمجموعة رئيسية مبكرة منقرضة من النباتات البرية، هي الرَيْنِيَّات rhyniophytes.



مسامّ الرينيّة

نباتات العصر الديڤوني المتأخر

نرى تطورات بنيوية جديدة في نباتات العصر الديڤوني المتأخر والعصر الكربوني المبكر. عاشت مجموعات الحياة النباتية المتعاقبة كلها في السهول الفيضية المنخفة، والتي لها سجل أحفوري جيد. إن الأمر يبدو كما لو أننا نرى موجات من الإحلالات [الاستبدالات] الإيكولُجيّة والتطوريّة على كل المستويات، من النباتات المفرَدة إلى كامل مجموعات الحياة النباتية في العالَم، حيث مكَّنَتْ الابتكارات [أو التجديدات] البُنيوية كلَّ مجموعة نباتية من التغلب في التنافس على المجموعات السابقة عليها.

كمثالٍ، فقد كان ١% من المقطع العَرَضيِّ لساق الرَيْنِيّة Rhynia مصنوعًا من الزيلم [أي: المكون الخشبي]، أما Psilophyton [عارية السوق] فقد امتلكت ١٠% وكان مجمل النبات أقوى بنية (الصورة ٨– ٦). بالتالي استطاعت الـpsilophytes [عاريات السيقان] النمو أطولَ (حتى طول مترين) والقيام بالبناء الضوئي على نحو أكثر كفاءةً من الرَيْنِيَّات rhyniophytes. دعمَتْ تحسيناتٌ أخرى في التكاثر وجمع الضوء _من خلال تطور الأوراق على نحو مشابه لنباتات السرخس الحية ومن خلال تفرع معقد أكثر_ كفاءةَ النبات.



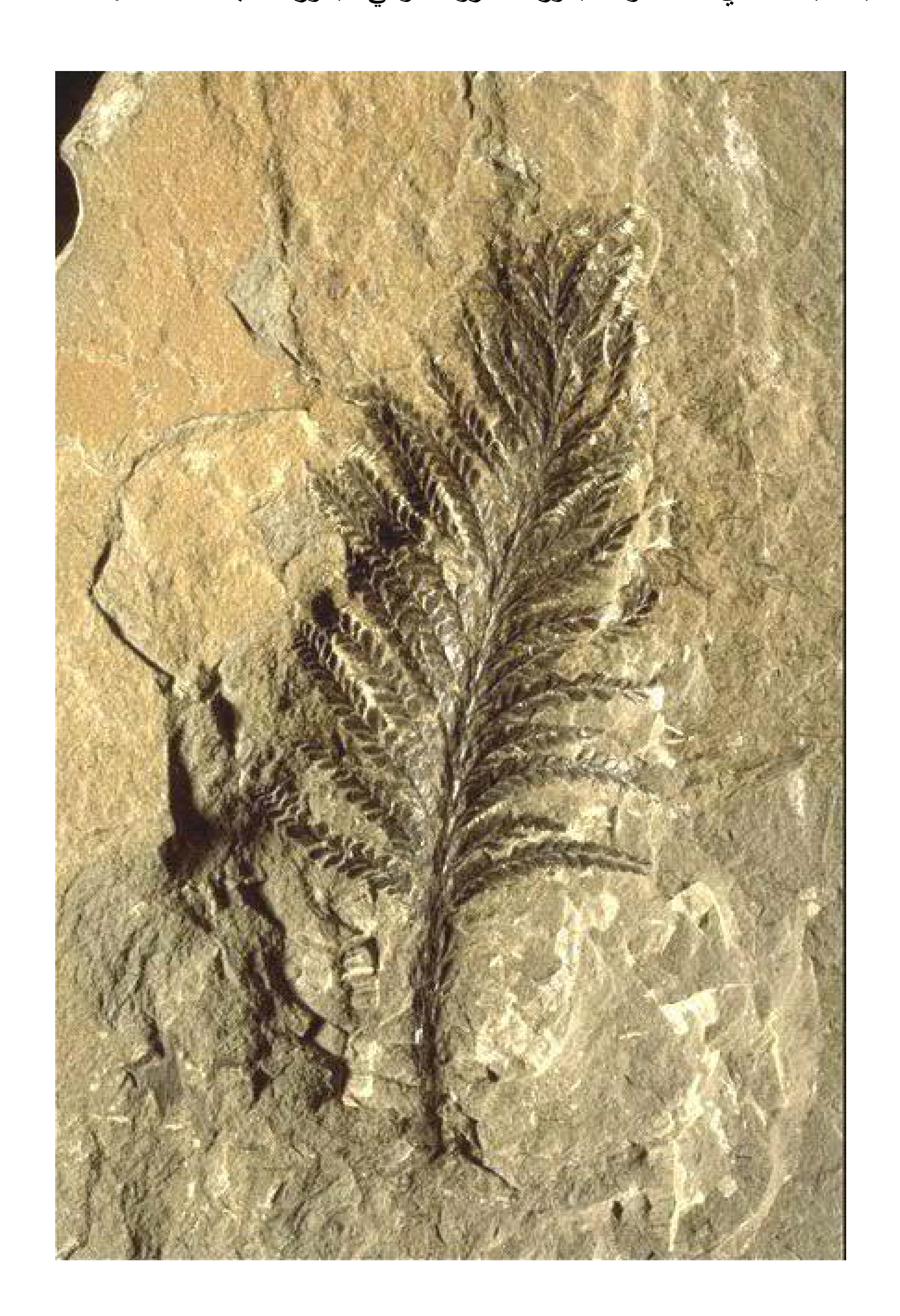
الصورة ٨– ٦ مثَّلَ نبات العصر الديڤوني Psilophyton [عاري السوق] مرحلة ونقلة جديدة في تركيب بنية النباتات البرية، متقدمًا على الرينيات ببنيته القوية.

طورت النباتات اللاحقة زيلمًا [خشبًا] أكثرَ، لذلك صارت البُنية أكثر قوةً. مَنَحَ الزيلمُ الثانوي متانةً كبيرة للنبات وسمح بنمو أعلى، منتِجًا أول الأشجار (الصورة ٨– ٧). طورت أشجار العصر الديڤوني أيضًا جذورًا حقيقيةً، وأنماط تفرع أكثر تعقيدًا، وأوراقًا أكبر وأكثرَ تسطحًا. حُسِّنَتْ الأجهزة التكاثرية أكثر؛ فمعظم نباتات العصر الديڤوني المتأخر امتلكت نوعين مختلفين من الأبواغ [أو البويغات]، أبواغ أنثوية كبيرة وأبواغ ذكرية صغيرة.

تطورت النباتاتُ حاملة البذور في العصر الديڤوني المتأخر. بدت بنيوات شبيهة بالبذور من العصر الديڤوني المتأخر تُعْرَف بالبذور العتيقة Archaeosperma كما لو أنها تنتمي إلى شجرة مشابهة جدًّا للشجرة الشبيهة بالسرخس القديمة Archaeopteris (الصورتان ٨– ٧، ٨– ٨). هذا كان تقدمًا كبيرًا، فقد احتاجت كل النباتات السابقة إلى طبقة من الماء لتستطيع النطفة [حبة اللقاح] السباحة فيها لتلقيح البويضة، أما النباتات ذوات البذور فتستطيع التكاثر بعيدًا عن الماء.



الصورة ٨– ٧ متحجرة وإعادة بناء لأول شجرة من نوع الشجرة السرخسية القديمة Archaeopteris يظهر لها مظلة مضادة لشمس العصر الديڤوني المتأخر. وقد كانت على الأغلب النبات الذي حمل أول البذور المعروفة، وهي البذور العتيقة Archaeosperma.



الصورة ٨– ٨ ورقة أو سعفة من أعلى شجرة سرخسية عتيقة Archaeopteris

بنهاية العصر الديڤوني، كانت كل الابتكارات [الصفات المستحدَثة] الخاصة بالنباتات البرية _ما عدا الزهور والثمار_ قد تطورت. كانت قد ظهرت غاباتٌ من الأشجار حاملة الثمار والليوكوبديَّات Lycopods أو الذئبيات [نوع من النباتات السرخسية الوعائية]، مع سرخسيّات ونباتات أصغر.

يبدو أن العملية الرئيسية السائدة في تطور نباتات العصر الديڤوني قد كانت الانتخابَ بناءً على الكفاءة القائمة على البساطة؛ في الحجم والرسوخ وعملية البناء الضوئي والنقل الداخلي والأجهزة التناسلية. حلَّتْ المجموعاتُ النباتية إحداها محلَّ الأخرى مع ظهور الابتكارات [الصفات المستحدَثة] الجديدة. لا يوجد أي سبب واضح لضرورة أن تكون العملية قد مضت أسرع أو أبطأ. لا بد أن الابتكارات التي قد ناقشناها قد أعطت [للنباتات الحائزة عليها] نجاحًا فوريًّا متى ما ظهرت. لكن الأمر قد استغرق كامل فترة العصر الديڤوني (حوالي ٥٠ مليون سنة) لكي تتطور النباتات رَيْنِيَّة النمط rhyniophyte-type إلى نباتات ذوات بذور. قد تستغرق الابتكارات الجديدة زمنًا لكي تتطور وتتراكم.

إيكولُجيَّة النباتات الديڤونية

نمت نباتات العصر الديڤوني المعروفة على أفضل نحوٍ في البيئات المستنقعية قرب خط الاستواء، حيث كان يُرَجَّح جدًّا أنْ تُحْفَظَ كمتحجراتٍ. رغم ذلك، فقد يكون سجل المتحجرات غير متحيز؛ فقد عاشت النباتات البرية المبكرة على الأرجح بالفعل في مناطق وطيئة [منخفضة] رطبة استوائية، حيث كان هناك تقلب موسمي قليل في درجة الحرارة والضوء والرطوبة.

بحلول العصر الديڤوني الوسيط كان هناك الكثير من النباتات الشبيهة بالسرخس ذوات أوراق متطورة على نحو جيد. تقترح متحجرات جذوع الأشجار من العصر الديڤوني الوسيط في نيويورك – أمِرِكا وجودَ نباتات [في ذلك العصر] بطول عشرة أمتار (٣٠ قدمًا)، ذوات نسيج خشبي يغطيه لحاءٌ. حالما وصلت النباتات إلى تلك الأطوال، أدى تظليل بعض أنواعها للأخرى إلى نشوء مجتمعات [أو مُستعمَرات] نباتية معقدة تمامًا. يبدو أن تطور البذور كان أساس التنافس على النجاح في العصر الكربوني المبكر. اجتاحت النباتات ذوات البذور بيئاتٍ أكثرَ جفافًا، وصار انتشار البذور بالرياح (بدلًا من الماء) هامًّا؛ وقد عُثِرَ على بذور طائرة [ريشية] من صخور العصر الديڤوني المتأخر. مكَّنَ انتشار البذور بعض النباتات من التخصص كمجتاحة [كغزاة]، متجنبةً المواطن المتزايدة الكثافة والتنافس في الأراضي عالية الرطوبة وعلى طول الأنهار.

لا بد أن النجاح المتزايد للنباتات البرية _وخاصةً نموهن إلى حجم الأشجار_ قد أدى إلى كميات أكبر بكثير من المواد النباتية المتعفنة في المستنقَعات والأنهار والبحيرات، مما أدّى إلى مستويات منخفضة جدًّا من O_2 في أي مياه استوائية بطيئة الحركة، حيث يُستَهْلَك O_2 في عمليات التحلل. في نفس الوقت، أَخْفَضَتْ عمليةُ البناءِ الضوئيِّ المتزايدة التي قامت بها النباتات البرية من كمية CO_2 ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وزادت من كمية الأكْسُجِنْ في الغلاف الجوي.

كل هذا ساهم على الأرجح في تشجيع التنفس الهوائي في مفصليات وأسماك المياه العذبة، وهذا أدى إلى حفظ أفضل لأي مادة متحجرة مودعة في مياه المستنقعات عديمة الأكسُجِن أو الفقيرة به. إن الفحم معثور عليه في صخور العصر الديڤوني، لكن طبقات الفحم الضخمة حقًّا تكوَّنَتْ لأول مرةٍ في تاريخ الأرض في العصر الكربوني، والذي سُمِّيَ بهذا الاسم لأجْلِ ذلك.

مقارنة تطور النباتات والحيوانات

سواءً أأحصى المرءُ البذور أو متحجرات النباتات الكبيرة، فقد كانت هناك زيادة مذهلة في تنوع النباتات البريّة من العصر السيلوري حتى العصر الديڤوني الوسيط، عندما وُصِلَ إلى استقرار للتنوع والذي استمر حتى العصر الكربوني. حدثت زيادة ثانية في التنوع للنباتات البرية في العصر الكربوني تلتها فترة طويلة من الاستقرار. ثم أدّى توسع في دهر الحياة الوسطى في النباتات والحيوانات إلى زيادة التنوع إلى المعدلات الحاليّة.

يبدو النمط مشابهًا للخاص بالرسم البياني لمجموعات الحياة الحيوانية الثلاث في المحيطات الخاص بـSepkoski . لكن التشعبات بين النباتات البرية وبين الحيوانات البحرية لم تحدث في نفس الزمن، لذلك فهي ليست متصلة على نحوٍ مباشرٍ. تختلف الانقراضات بين النباتات عن الانقراضات بين الحيوانات، مما يقترح أن النباتات والحيوانات تتأثر بعوامل انقراض مختلفة تمامًا. وعلى وجه التحديد، اقترح Andrew Knoll ثلاثة عوامل رئيسية:

– النباتات أكثر عرضة للانقراض بفعل التنافس
– النباتات أكثر عرضة للتضرر بالتغير المناخي
– النباتات أقل عرضة لأحداث الانقراضات الجماعية

تُظْهِر هذه الاختلافاتُ [الطبيعةَ] البيولُجيَّةَ الرئيسية للنبات. فكل النباتات تقوم بنفس الوظائف تقريبًا. إنها كلها في نفس مستوى الهرم الغذائي القاعدي [لها نفس مصادر التغذية]، لذلك فلا تستطيع تقاسم الفراغات البيئية بنفس السهولة التي تستطيع بها الحيواناتُ فعلَ ذلك. إن وافدًا جديدًا [نوعًا ناشئًا مُحْدَثًا] في مجموعةِ حياةٍ حيوانيةٍ قد يكون أخطر تنافسيًّا بكثيرٍ من وافدٍ جديدٍ في مجموعة حياة حيوانية.

كمثالٍ، فإن امتصاص CO2 ثاني أكسيد الكربون يجب أن يترافقَ مع فقدان بخار الماء، بما أن النبات عرضة لتبادل الغازات. إن الكثيرَ من تكيفاتِ النباتات استجاباتٌ لمشكلة الحفاظ على الماء. ولأنها جزء أساسي للغاية من بيولُجيَّتهنَّ، فإن ابتكارًا تطوريًّا جديدًا يمكن أن يقدم مجموعةً نباتيةً جديدةً ذات أفضلية كاسحة. الأنظمة النباتية الأخرى كجمع الضوء يُرَجَّح على نحوٍ متساوٍ أن تتحسن بالابتكارات التطورية.

توزعات النباتات حسَّاسة للمناخ. لو تغير المناخ، فإن النبات يجب أن يتكيف، أو يهاجر، وإلا فينقرض. في الظروف المتطرفة، قد لا يكون هناك ملاجئ أو حلول متاحة. وهكذا كمثال، فإن أنواع الأشجار الخاصة بشمالي غرب أورُبا حوصِرَت مبكرًا في العصور الجليدية فيما بين الأنهار الجليدية [المثالج] الإسكندناڤية المتقدمة إلى الشمال والأنهار الجليدية الأَلْبِيَّة إلى الجنوب وأُبِيدَتْ. على النقيض، كانت أنواعٌ مشابهة في أَمِركا الشماليَّة قادرةً على تحريك مدى انتشارها إلى الجنوب على طول جبال الأبالاشي الأمِركيّة Appalachians، ثم إلى الشمال مُجدَّدًا عندما تراجعَ الثلجُ.
رغم ذلك، فإن النباتاتِ متكيفة جيدًا للتعامل مع الضغوط المؤقتة، حتى لو كانت كارثيةً بالنسبة للحيوانات. تُسْقِطُ النباتاتُ بسهولةٍ الأعضاءَ الغيرَ مطلوبةٍ كالأوراق أو حتى الفروع لكي تنجو من العواصف أو الطقس القاسي. تموت الكثير من الأعشاب، لكي تتجاوز فترةَ الشتاء كبذور أو بصلاتٍ للعشب. حتى عندما تُجْتَثُّ النباتاتُ بالنار أو الجفاف، فإن التربة تكون وافرةَ البذورِ، بالتالي فإن الفناء الجماعي الكبير للنباتات مكتملة النمو لا يعني نهاية المجموعة السكانية الخاصة بها. تكون النباتات هي الكتلة الحيوية السائدة [أغلب الكائنات قاطنة الموطن] في المستعمَرات الحيوية المتعافية بعد الانفجارات البركانية أو العواصف الاستوائية أو الكوارث الأخرى التي تكون قد دمَّرَتْ منطقةً ما. في الكثير من المستعمَرات الحيوية لليابسة، فإن إزالة أشجارًا سائدةً بعاصفة أو حريق أو عامل بشري يعقبها الانتشار السريع للأنواع المتخصصة في استعمار المناطق المُفسَدة.

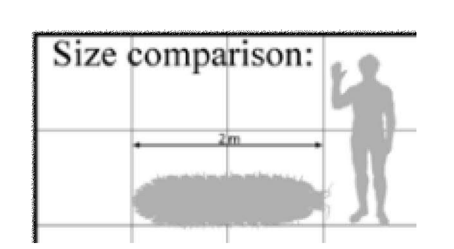
أول الحيوانات البريّة

عندما وسَّعَتْ النباتاتُ مَواطنَها إلى المستنقعات وضفاف الأنهار والسهول الفيضية، فقد أتاحت قاعدةً غذائية لحياة الحيوانات التي ستتطور من الحياة في الماء إلى الحياة في الهواء. الحيوانات البحرية التي كانت متكيفةً من قبلُ ومُسْبَقًا على أفضلِ نحوٍ للحياةِ على البر هي المفصليات. فقد امتلكن مسبقًا غطاءً مانعًا للماء تقريبًا وكن قويّاتٍ جدًّا بالنسبة لأحجامهن، محرّكاتٍ على أرجل سائرةٍ قوية. ربما كان الحافز على التحرك خارج الماء إلى الهواء [البر] هو توفر مخلفات عضوية مجروفة إلى الشواطئ، أو ربما مخلفات تركتها على البر أوائلُ النباتاتِ البريّة. وكمثال فإن السرطانات المرتعية Foraging crabs أعضاءٌ واضحة في الكثير من المستعمرات الحيوية الشاطئية. تميل المخلفات النباتية _سواءً أكانت على شاطئ أم على أرض غابة_ إلى أن تكون رطبة، وهي توفِّر حماية من الأشعة الشمسية ومغذِّية نسبيًّا. لذلك فليس مدهشًا أن أقدم الحيوانات البرية كانت المفصليات التي أكلت المخلفات العضوية، والمفصليات الأخرى التي تغذت عليهن [على المفصليات آكلة المخلفات النباتية].

لقد انتقلت المفصليات المختلفة إلى الهواء [اليابسة] بطرق مختلفة على الأرجح. يبدو أن أسهل طرق الانتقال كانت مصبات الأنهار والدلتاوات [جمع دلتا، وهي أرض مثلثة الشكل تقع على مصب نهر وتتقاطع مع أفرع النهر المنصبَّة في البحر] والأراضي الطينية المنبسطة [مسطح طين، مسطح وحل،

مساحة مستوية نسبيًّا من الغرين الناعم على امتداد شاطئ (كما في المصب النهري المحمي)، أو حول جزيرة، ويُغمَر وينكشف على نحو متبادل بالمد أو يُغطَّى بماء ضحل]، حيث كان الطعام وفيرًا ودرجات الملوحة معتدلة.

إن أبكر المفصليات البريّة معروفة من متحجرات آثارٍ لآثار أقدامها من العصر السيلوري المتأخر، عوضًا عن الحيوانات أنفسها. لقد عُثِرَ على متحجرات مفصليات صغيرة جدًّا في العديد من مواقع العصر الديڤوني المبكر. معظمهن (سوس أو عث وحشرات ذوات الذيول الزنبركية Springtails [نوع من المفصليات الدقيقة ذوات الذيول الملونة]) كن يأكلن المواد النباتية الحية أو الميتة، وبدورها كانت تأكلها مفصليات مفترِسة أكبر كالعناكب المبكرة. يُعثَر على المفصليات الأكبر عادةً كشظايا ضئيلة، لكن من الواضح أن البعض منها كان كبيرًا بكل المقاييس. فلدينا عينات من عقرب كان طوله على الأرجح حوالي ٩ سم (يتعدى ٣ بوصات)، وكائن شبيه بألفيات الأرجل كبير جدًّا _يُعرَف بـEoarthropleura أو Arthropleura _ والذي عاش على الأرجح في كومة مخلفات نباتية وتغذى عليها ووصل إلى طول 3 ,2 مترًا. وكان أكبر حيوان بري من العصر الديڤوني المبكر يبلُغ طوله ١٥ إلى ٢٠ سم (٦ إلى ٨ بوصات).







متحجرات وآثار زحف وإعادة بناء وتصور لـ Arthropleura

لم يتضمن هذا النظام الإيكولُجي [البيئي: المتعلق بطرق اعتياش الأنواع وعلاقاتها مع بعضها ومع البيئة] البري المبكر أي فقاريات كمقيمين دائمين، لكنْ لا شك أن كامل السلسلة الغذائية _بما فيها الأسماك في الأنهار والبحيرات والأهوار [البحيرات الضحلة]_ استفادت من تدفق الطاقة الزائد الذي وفرته النباتات البرية وعملية التركيب الضوئي الخاصة بها.

الأسماك ذوات القشور العظمية Osteolepiforms

أدى غزو النباتات للهواء [لليابسة] وغزو اللافقاريات له والتي استغلت النباتات كغذاء ومأوى إلى زيادة كبيرة في المواد المغذية العضوية في السواحل وحولها. نرى في صخور العصر الديڤوني أول العلامات على بداية استغلال الأسماك للمواطن المُخَصَّبة المُثْراة على نحو حديث قرب السواحل وقرب السطح. لكنْ لا يجب علينا أن نتصور أن الفقاريات تكيفت سريعًا مع الحياة في الهواء [على اليابسة]، أو أنها غادرت الماء بسهولة.

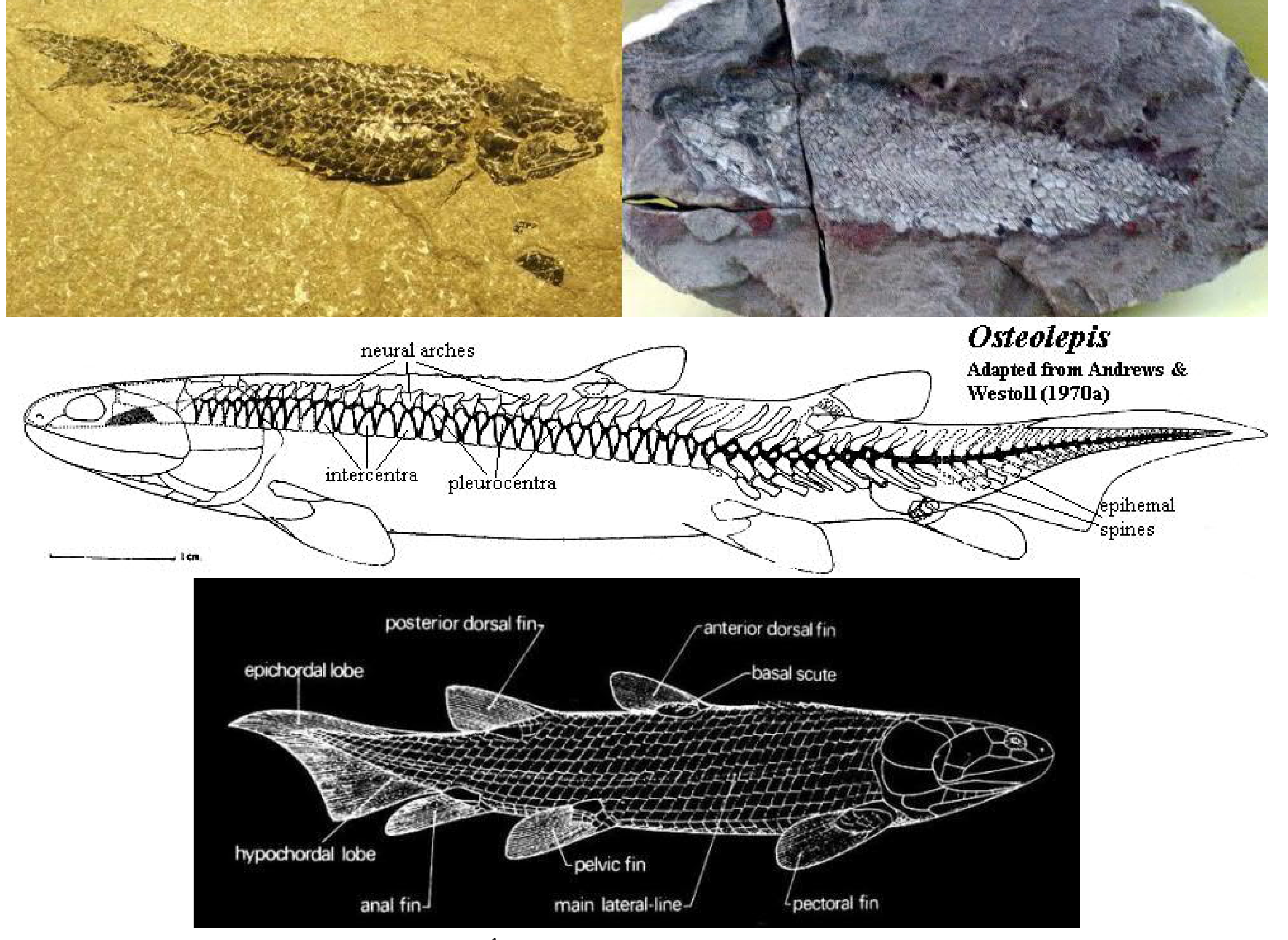
كما عرفنا في الفصل السابع، فقد تطورت الأسماك لحمية الزعانف إلى أسماك ذوات طرق مختلفة للاعتياش بحلول نهاية العصر الديڤوني. تخصصت الأسماك الرئوية في سحق فرائسها من حيوانات البطلينوس الصغيرة والقشريات. وإن أمكننا التقرير على أساس آخر نوع حي من الأسماك مجوفة العظام coelacanth، فقد تخصصت هذه المجموعة في الصيد في الماء بالتسلسل الذي يتبعه الهجوم المندفع المفاجئ. أما الأسماك عظمية القشور فيبدو أنها كانت أفضل لحميات الزعانف تكيفًا في العصر الديڤوني المتأخر في صيد الأسماك في المياه الضحلة على طول سواحل البحار وفي سواحل الأهوار الملوحية [المالحة قليلًا] وفي البحيرات والأنهار عذبة المياه. إنها تبدو أنشط من مجوفات العظام وقد كانت على الأرجح مفترِساتٍ تكمن وتنطلق [تهجم] بسرعة.

تستعمل الأسماك مجوفة العظام Coelacanths ذيولَها القوية لأجل الاندفاع الأخير نحو الفريسة، وتعمل الزعانف اللحمية المزدوجة على نحو رئيسي على تعديل وضعها الجسماني وسرعتها بينما تتسلل للهجوم. تضرب الزعانف البطنية كالأجنحة حقًّا، إلى الأعلى والأسفل في الماء. تتزامن الضربات، حيث تضرب الزعنفة الصدرية اليمنى في نفس الوقت مع الزعنفة الحوضية اليسرى، والعكس صحيح. من غير الواضح سبب فعلهن [الأسماك] ذلك، لكن للأمر على الأرجح له علاقة بالدوامات الهيدروديناميكية؛ فقد يصعُب "الطيرانُ" تحت الماء بمجموعتين من الزعانف يَضرِبن في وقت واحد كأزواج. وتضرب أجنحة حشرة اليعسوب [أبي مغزل، السُرْمان، "فرس النبي"] في الهواء بنفس نمط زعانف الأسماك مجوفة العظام. الجانب الرائع لنمط حركة ضربات الزعانف البطنية الخاصة بالأسماك مجوفة العظام أنه نفس النمط الذي تستعمله رباعيات الأقدام للمشي على اليابسة. إذن فإن نمط حركة الزعنفة أو الطرف الذي تستعمله الأسماك مجوفة العظام في العصر الحالي للسباحة ربما تشاركت فيه معهن أقاربهن في العصر الديڤوني الأسماكُ ذوات القشور العظمية، والتي مرَّرَتْها وورَّثَتْها إلى رباعيات الأقدام لأنه اتضح (بالصدفة) أنه نمط مفيد للتلوّي والمشي خلال القِوامات الموحلة [القِوام: مادة تلتصق بها أو تتغذى عليها أو تتحرك فوقها أو بداخلها الكائنات الحية].

امتلكت ذوات القشور العظمية أجسادًا انسيابية قوية طويلة مع زعانف لحمية قوية وذيل قوي (الصورة ٨– ٩)، متكيفةً للسباحة القوية. وامتلكت خطومًا طويلة، وخاصة الكبيرة منها. ربما كنتيجةٍ لذلك، طورت ذوات القشور العظمية مفصلَ جمجمةٍ مكَّنَها من رفع الفك الأعلى مثل _أو بدلًا من_ تدلية [أو خفض] الفك السفلي بينما يفغرن أفواههن للإمساك بالفرائس. ربما كان لهذا تأثيران مهمان؛ كلاهما ذوا صلة بالحياة في الماء الضحل. أولًا، حركات الخطم غيَّرَت سعةَ الفمِ، ربما سامحةً بضخ ماء أكثر خلال الخياشيم بدون تحريك الفك السفلي. ثانيًا، استطاعت الأسماك عظمية القشور الإمساك بالفرائس في الماء الضحل برفع خطومها بدون تدلية الفك السفلي. تفعل التماسيح نفس الشيء بالضبط عندما تمسك بالفرائس في الماء الضحل. ربما كانت بعض عظميات القشور قادرة على مطاردة الفرائس إلى حافة الماء أو حتى إلى ما بعدها. ربما مكَّنَتْها زعانفها اللحمية البطنية القوية المتموضعة على أجسادها من مطاردة الفرائس فوق أو عَبْرَ أو خلال الضفاف الموحلة الضحلة، وهكذا كانت تقوم برحلات سريعة على أسطحٍ يمكن أن تُدعَى "أراضيَ".

جاء الدفع الرئيسي للإسراع في الأسماك عظمية الزعانف من الذيل. كانت الزعانف اللحمية متموضعة على الجانب الظهري من الجسد وكذلك البطني (الصورة ٨– ٩). في المياه العميقة استطاعت الأسماك عظمية القشور مهاجمة الفرائس من أي زاوية. أما في الماء الضحل فقد اكتسبت الزعانف البطنية أهمية إضافية. فأمكن استعمال الزعانف البطنية الصدرية ضد اتجاه قاع الماء كدعامات، مقوّيةً وضعَ الجذعِ الأمامي وعاملةً كدعامات في المطاردات؛ وعملت الزعانف البطنية الحوضية على القبض والدفع فوق القوام [قوام قاع الماء، كالطين مثلًا] بحيث يمكن زيادة الجهد الأقصى في الاتجاه المقابل للقوام، مما أضاف إلى قوة الاندفاع. في بعض عظميات القشور المتطورة، تطورت الزعانف اللحمية باتجاه التطور والصيرورة إلى أطراف، ليس كتكيف للمشي بل ليصرن أسماكًا أكثرَ كفاءةً.





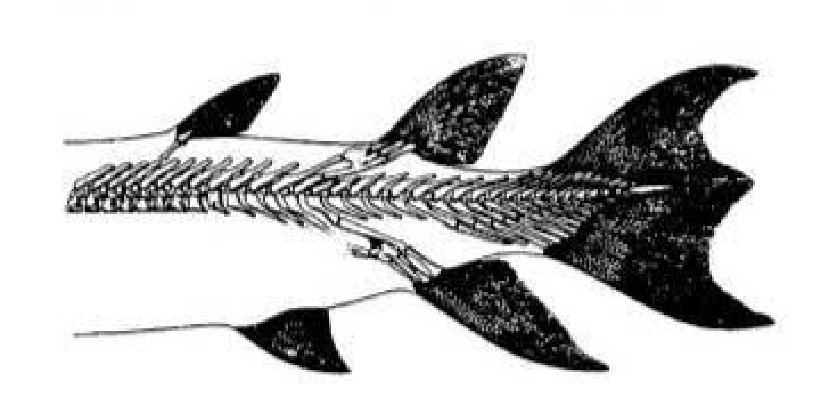
الصورة ٨– ٩ سمكة عظمية القشور osteolepiform نموذجية، ذات زعانف لحمية قوية متموضعة أسفل الجسم. في الحقيقة، تدعى هذه السمكة باسم Osteolepis، والذي منحت اسمَها لهذه المجموعة.

تُصوَّر الأسماك عظمية القشور عادةً على أنها كانت تعيش حصريًّا [مقتصِرةً] في البحيرات والأنهار عذبة المياه، لكن هذا ليس صحيحًا بالضرورة بالنسبة للأسماك المبكرة. فكل مجموعات الأسماك لحمية الزعانف الديڤونية كانت أسماكًا بحرية في البدء. تشعبت [بعض] الأسماك لحمية الزعانف إلى الحياة في الماء العذب في معظمها في العصرين الديڤوني الوسيط والمتأخر، في نفس الزمن الذي كانت تتشعب فيه النباتات البريّة بوفرة.

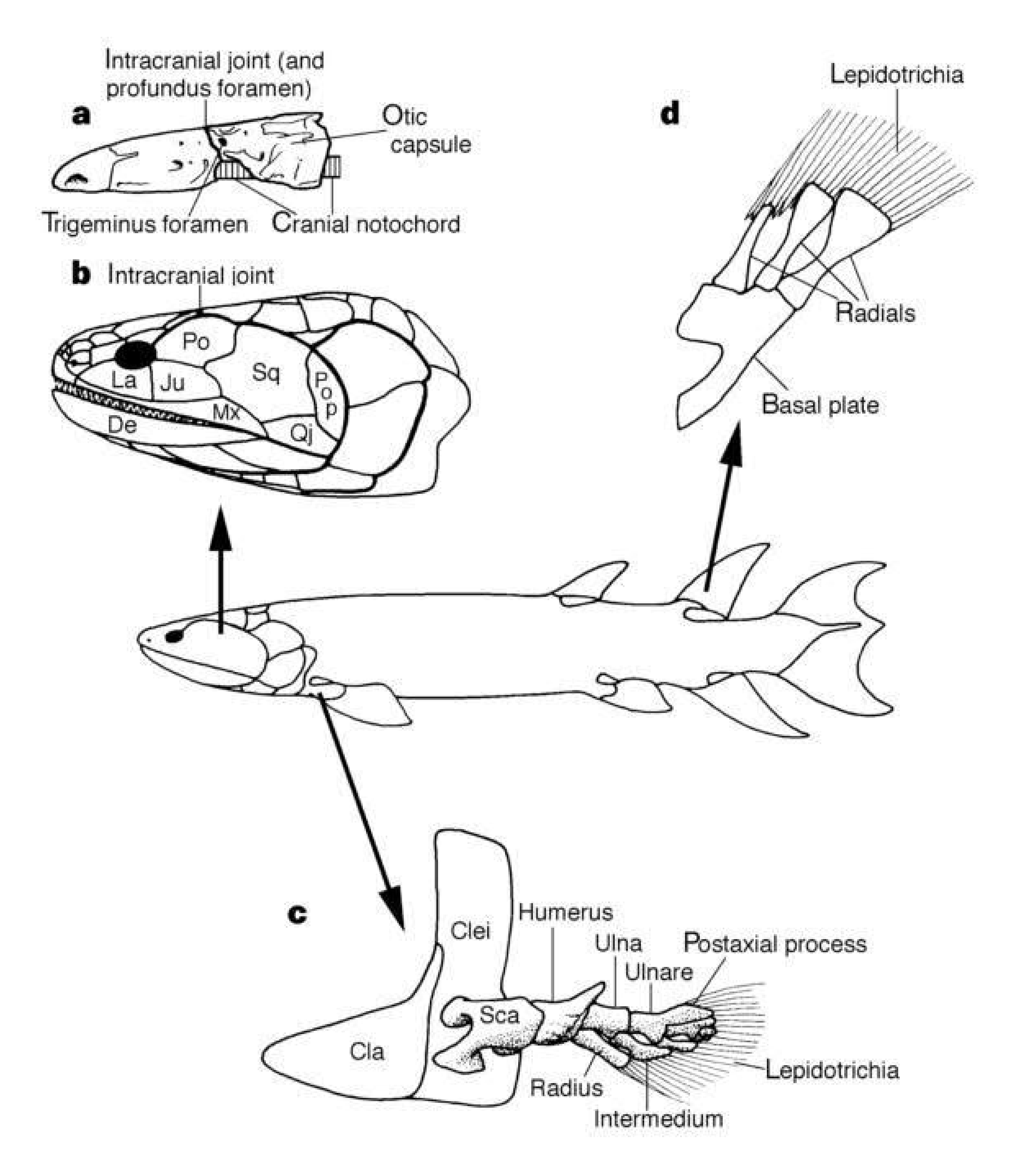
إذن، فلدينا مشهد لمجموعة متنوعة من الأسماك عظمية القشور، كانت كلها صيادة لكنَّ بعضها تكيف للحياة في المواطن ضحلة المياه. وكانت كلها أسماكًا، ولم يكن أيٌّ منها متكيفًا ليكون نشيطًا حيًّا خارج الماء لأي فترة من الزمن.

التنفس الهوائي

بعض الأسماك شعاعية الزعانف البدائية التي لا تزال على قيد الحياة في العصر الحالي تتنفس الهواء عن طريق رئات. وكما قد عرفنا، فإن الأسماك الرئوية لحمية الزعانف الحية المعاصرة تقوم بنفس الأمر. لكن مجموعة واحدة من الأسماك عظمية القشور في العصر الديڤوني المتأخر _والتي تمثلها متحجرة النوع Eusthenopteron [ذي الزعانف القوية المتطورة باللاتينية] (الصورة ٨– ١٠)_ قد طورت فتحتي الأنف التي تستعملها في العصر الحالي كل رباعيات الأقدام لتنفس الهواء، والممر الهوائي الداخلي _الذي يُعرَف بالمَنْعَر أو القُمْع choana_ الذي يمكِّن من تنفس الهواء من خلال ثقبي الأنف. بالتالي فقد كانت هذه الأسماك عظمية القشور يتنفسن الهواء، وامتلكن رئاتٍ، وكن أقرب إلى رباعيات الأقدام مما كن لأي أسماك لحمية الزعانف أخرى. ربما يكون تنفس الهواء قد تطور في الحقيقة في السلف المشترَك للأسماك شعاعية الزعانف والأسماك لحمية الزعانف، والذي كان سمكة عظمية مبكرة معتاشة في البحر. فلماذا كانت أسماكٌ بَحَريَّةٌ ستطوِّر القدرةَ على تنفس الهواء؟







الصورة ٨– ١٠ في السمكة عظمية القشور الديڤونية Eusthenopteron كانت الزعانف الظهرية متصلة بالعمود الفقري بنفس إحكام اتصال الزعانف البطنية به، ويفترض أنها لعبت دورًا بنفس الأهمية في السباحة. وفي الأسماك عظمية القشور التي تطورت باتجاه الحياة في المياه الضحلة والتنزهات على اليابسة في الهواء، تطورت الزعانف البطنية لتصير أطرافًا لأنها حدث وأن تموضعت حيث يمكنها الدفع على سطح قوام قاع الماء.



بعض عينات متحجرات السمكة Eusthenopteron، وقد امتلكت في الهيكل الداخلي لزعانفها الأمامية عظام عضد وزند وكعبرة، وفي الزعانف الخلفية عظام فخذ وقصبة وشظية، كما تتشابه عظام جمجمتها التسقيفية مع الخاصة بالبرمائيات المبكرة.

تتضمن الإجابةُ التي استعملتها لعدة سنوات مستويات الأكسجن المنخفضة في الماء، لكن اقترَحَتْ Colleen Farmer فكرةً أفضل (انظر Farmer، ١٩٩٩)، وقد استعملتُ عملَها لتأليف معظم هذا الجزء.

للتنفس في الحيوانات سمات شاملة عمومية متأصلة. تمتص الحيوانات الأكسجن لتحرق طعامها في عملية التنفس، وينتجن CO_2 كفضلات. ثاني أكسيد الكربن سامٌ لأنه يذوب بسهولة في الماء ليُكوِّن الحمض الكربوني [حمض الكربونيك]. لا تستطيع الحيوانات سوى تحمل تراكم ضئيل من CO_2 قبل أن تطرده من أجسادها [من أنظمتها]. كمثال، فإن ارتفاع ثاني أكسيد الكربون CO_2 في رئاتنا هو ما يجعلنا نريد أن نزفر، وليس نقص الأكسجن.

تتبادل الأجسام الحية الغازات مع البيئة، سواءً أكانت ماءً أو هواءً، حيث تُمرَّر سوائل الجسم بالقرب جدًّا من سطح الجسم. كمثال، يتدفق الدم تحت وملاصقًا لسطح الرئة في عملية التنفس الخاصة بنا. وطالما تمتلك البيئة معدلًا أعلى من O_2 وأدنى من CO_2 عما في الجسم الحي، فإن الانتشار البسيط يعمل على إدخال O_2 وإخراج CO_2. يعتمد المعدل على عوامل عديدة: مساحة سطح الجسم، وكثافة النسيج الذي يجب أن تنتشر الغازات من خلاله، والمعدل الذي تمر وفقًا له السوائل الخارجية والداخلية عبْرَ السطح، وتركيزات الغازات في السائل الداخلي وفي الوسط البيئي الخارجي. في الأسماك العادية، ينتشر CO_2 و O_2 انتشارًا بسيطًا في اتجاهين مختلفين من خلال سطح الخياشيم.

التنفس في الأسماك المبكرة

امتلكت الأسماك الأقدم في العصر الكامبري المبكر على الأرجح جهاز تنفسٍ مماثل للخاص بالحبليات الرأسية الحية (راجع الفصل السابع). كان الماءُ يُضَخُّ إلى بُنيةٍ شبيهة بالسلة، وتؤخَذ جسيمات الطعام والأكسجن منها. وكان الأكسجن يُحْمَل في منظومة الدم الذي يضخه قلبٌ، وينتقل عبر أنسجة الجسم، موصِّلًا الأُكْسُجِنَ، حتى يصل إلى القلب.

وَرَثَتْ الأسماكُ العديمة الفك اللاحقة هذا النظامَ. ربما يكن قد طورن [تطور فيهن] خياشيم معقَّدة متطورة (الصورة ٧– ٨)، لكن نظامهن به عيب أساسي؛ وهو أن الدم يصل إلى الجسد مستنفدَ الأكسجن وفقيرًا به، لأنه يكون قد غذَّى الجسمَ أولًا. فكلما كانت السمكة أكثر نشاطًا رُجِّحَ أكثرَ أنها كان يمكن أن تعاني من سكتة قلبية! ورغم أن هذا ينطبق على كل الحيوانات ذوات القلب، فإن هذا ليس عملًا هندسيًّا نموذجيًّا، لكنك ترث من أسلافكَ ما يورثون.

ازدهرت الأسماك العديمة الفك بطيئة الحركة نسبيًّا ساكنة القيعان إلى حد كبير على نحو جيد لعدة ملايين من السنين بهذا النظام، عندما تفكر في الأمر، فإن نجاح الأسماك المبكرة في بحار العصر الكامبري يؤكد أن مستويات الأكسجن العالمية كانت مرتفعةً على نحو معقول، على الأقل في الماء الضحل.

مع تطور الفكوك والتشعب السيلوري – الديڤوني للأسماك ذوات الفك، لابد أن خطوط تحدرٍ أكثر قد صارت مرتعِياتٍ ومفترِساتٍ، ولابد أنه قد كانت هناك ضغوط انتخابية قويّة لتعديل نظام السلف لتدبُّرِ مطالبِ الأكسجن الإضافي الخاص بحياةٍ أكثرَ نشاطًا.

حتى في العصر الحالي، كثيرًا ما تحدث "مجازر أو مَقاتِل" طبيعية للأسماك يحدث فيها فَناءٌ جماعي ضخم بين الأسماك. كثيرًا ما تكون هذه الأحداث ذوات صلة بانخفاض الأكسجن في البيئة. كمثال، في البِرَكِ الضحلة أو الأنهار أو الأهوار التي تسخن أكثر من اللازم. إن المتهم المباشر هو أذية الطبيعة بالتأكيد، لكن الأزمة تصير أسوأ لأن الأسماك كانت تستعمل نظام خياشيم للتنفس لم يستطع التعامل مع نقص الأكسجن.

قدَّمَ التنفسُ الهوائيُّ اختيارًا مختلفًا للتنفس، لذلك ينبغي أنْ نقارن بين عملية التنفس في الهواء وفي الماء.

امتصاص الأكسجن

ربما يكون استخلاص الأكسجن من الهواء بدلًا من الماء أسهلَ وأرخصَ. الماء أكثر كثافةً بمئات المرات وأكثر لزوجةً من الهواء، وحتى في أفضل الأحوال فإنه يحتوي على أكسجن أقل. تحتاج الكثير من الحيوانات المتنفسة بالخياشيم إلى ضخ ماء خارجي خلال أسطح خياشيمهن بمعدل عشرة أضعاف معدل ضخهن لدمهن الداخلي. تحتاج الخياشيم أن تُصَمَّمَ لمقاومة تسرب معادن الجسد الذائبة، والخلايا التي يُتَبادَل الأكسجن خلالها لا يمكن أن تكون بنفس درجة الرقة التي يمكن لها أن تكون عليها في الهواء، بالتالي فنادرًا في جميع الأحوال ما يكون تبادل الغازات [في الماء] قريبًا من كفاءة ١٠٠%.

بسبب أن الأكسجن ينتشر انتشارًا سريعًا عشرة آلاف مرة أسرع في الهواء عما هو في الماء، فإن الهواء الفقير بالأكسجن نادر. أما نقص الأكسجن في الماء فيحدث كثيرًا تمامًا، خاصةً في المناطق المدارية، أينما تكون البحيرات أو البرك أو الأهوار عذبة المياه أو مالحتها معزولةً جزئيًّا أو كليًّا، خاصةً في المواسم الحارة. يمكن للمخلفات الدافئة المتعفنة أن تستنفد الأكسجن بسرعة، خاصةً لو كان هناك تدفق ماء قليل أو لا يوجد. حتى لو كان التأثير موسميًّا فقط، فلعله يظل رغم ذلك خطيرًا بالنسبة للأسماك والكائنات المتعضّية الأخرى التي تعيش في الماء. الماء ساكنٌ ودافئ ومليء بالمخلفات المتعفنة، وكثيرًا ما تحفَل ببكتيريا قد تطلق موادًا سامة أيضًا.

لماذا "سترغب" أو سيكون من الأفضل للأسماكُ العيش في ماء فقير بالأكسجن، حيث يكون التنفس بالخياشيم صعبًا؟ لأن إمداد الغذاء قد يكون ثريًّا للأسماك التي تستطيع تحمل ذلك، ويمكن أن تكون هناك أوضاع قد تستفيد فيها الأسماك من السباحة في مناطق دافئة المياه كثيرًا ما تكون فقيرةً بالأكسجن قرب السطح.

الكثير من الأسماك المفترسة في العصر الحالي قاطنة لقيعان الماء، يصطدن الفرائس الصغيرة التي تعيش على أو في سطح الرُسابة. في خطوط العرض الدافئة، كثيرًا ما تكون مياه القاع أبردَ بكثيرٍ من مياه السطح، والتي تُسخِّنُها الشمس. يمكن أن يكون الهضم بطيئًا جدًّا في الحيوانات باردة الدماء، وخاصة لو أنها تعيش في بيئات باردة. قد يكون هذا عاملًا خطيرًا يعيق النموَ والتنمّي. في تلك الحالات، فإن زيادة معدل الهضم بالسباحة في ماء سطحي دافئ يمكن أن تُسَبِّبَ نموًّا أسرعَ، ونضوجًا [بلوغًا] أبكر، وتكاثرًا أكثر نجاحًا.

لكنْ ماذا يحدث لسمكةٍ تسبح إلى الماء السطحي لأنه دافئ، فقط لتجد أنه أيضًا فقير بالأكسجن؟ حتى لو أن المياه السطحية عامةً منخفضة مستوى الأكسجن، فهناك دائمًا طبقة سطحية رقيقة من الماء _ بسُمْكِ حوالي مليمتر_ تكتسب الأكسجن من الهواء بالانتشار البسيط. تأتي الكثير من الأسماك الحية المعاصرة في البيئات المدارة إلى هذه الطبقة السطحية لتَغْمُر خياشيمها في الطبقة السطحية المحتوية على الأكسجن. إنهن يستطعن التنفس [هناك]، لكنهن يَحْتَجْنَ أيضًا إلى حل مشاكل أخرى أيضًا. فإن اخترقن سطح الماء، فإن أجسادهن ستمتد خارجًا إلى الهواء، ويفقدن بعض قابلية الطفو.

بعض الأسماك الحية المعاصرة في هذا الموقف تبتلع فقاعات هوائية وتحتفظ بها في أفواهها لأجل طفوٍ فاعل إيجابي، لتبقى عند السطح بدون سباحة نشطة. تتنفس بعض الأنواع الحية لأسماك جوبي بهذه الطريقة. حالما يحصلن على فقاعة هواء يستطعن استخلاص الأكسجن منها في مؤخر أفواههن بكفاءة أكثر بكثير من عملية استخلاصه بالخياشيم. عندما ينخفض مستوى الأكسجن في فقاعة الهواء الموضوعة في فم السمكة، مما يقلل حجمها وتأثيرها على الطفو، يجب أن تتخلص السمكة من الفقاعة وتبتلع أخرى. ربما يكون التنفس المنتظم قد تطور كنتيجة لهذا الفعل، عندما بدأت الأسماك في التخلص من CO_2 من الفقاعات في أفواههن بينما كن لا يزلن يتخلصن منه من خلال أسطح خياشيمهن أيضًا.

امتصاص الأكسجين بالفم يُزيد إمدادَ الدم به، وتستطيع السمكة تخزين الأكسجين عن طريق فقاعة الهواء. فقاعة الهواء التي تشغل حيز ٥% فقط من حجم الجسد يمكن أن تزيد تخزين الأكسجين عشرة أضعاف مقارنةً بسمكة بدون فقاعة هواء. بالتالي، لا يعني التنفس بفقاعة الهواء أن السمكة مربوطة بالسطح، بل تستطيع القيامَ بغوصات مطوَّلة إلى القاع. هذا صحيح وينطبق في العصر الحالي على كل الكائنات المتنفسة للهواء ذوات معدلات التمثيل الغذائي المنخفضة، بما فيه التماسيح والسلاحف، وتستخدم الكثير من الحشرات والعناكب ساكنة الماء فقاعات الهواء أيضًا.

حالما يكون التنفس بالهواء قد تطور، فإنه يُمْكِنُه الهيمنة على عملية التنفس، حتى ضمن أسماك لا تغادر الماء أبدًا. هذا ينطبق على السمكة الرئوية الأفريقية، وعلى سمكة الأنقليس المكهربة الجنوب أمِركِيّة التي تعيش في مياه نهر الأمازون الدافئة التي كثيرًا ما تكون راكدة.

بسبب أفضليات التنفس الهوائي، فقد قامت الكثير من الأسماك المبكرة بذلك على الأرجح. على نحو متزايد، يبدو كما لو كان تطورًا مبكرًا جدًّا ضمن الأسماك العظمية، سواءً شعاعية الزعانف ولحمية الزعانف. فقدت معظم الأسماك شعاعية الزعانف هذه القدرة، متحولةً الرئاتُ فيها إلى مثانات سباحة هوائية تساعدها في الحفاظ على الطفو في الماء. اقترحت Colleen Farmer أن معظم متحدِّرات الأسماك شعاعية الزعانف ارتدت إلى التنفس بالخياشيم (في عصور دهر الحياة الوسطى) كنتيجة للافتراس من جانب الصائدين الهوائيين: وهم أوائل الزواحف الطائرة المجنحة pterosaurs [جناحية الإصبع الرابع المستطال]، ثم الطيور. تذكر أن صيادي الحيتان في القرن التاسع عشر اعتمدوا على دفق الحيتان لبخار الماء الكثيف عند السطح لتحديد أماكنهم وقتلهم. تواجه الغواصات نفس المشكلة؛ فهي تكون عرضة للتضرر [بالضربات العسكرية] عند السطح وفوقه.

طرد ثاني أكسيد الكربون

يسهل التخلص في العادة من CO_2 في ماء البحر العادي. يذوب CO_2 وينتشر بسهولةٍ فيه. لذلك فقد احتُفِظ بالخياشيم لهذا الغرض، حتى لو كان يُمَدُّ بالأكسجين في المعظم عن طريق تنفس الهواء. امتلكت الأسماك عظمية القشور خياشيم بالإضافة إلى فتحات الأنوف بالتأكيد، لذا فقد امتلكن طريقتين بديلتين للحصول على الأكسجين. فلو عشن في مواطن ضحلة المياه بقرب الشواطئ (ويقترح سجل المتحجرات أن هذا كان صحيحًا دائمًا)، ولو تعرضن للهواء لفترات قصيرة، فإنهن سيكن قد اتجهن أو انزلقن نحو مشكلة خاصة بثاني أكسيد الكربون. ففي الهواء، تصير الخياشيم غير فعالة في طرح ثاني أكسيد الكربون لأن شعيراتها تلتصق ببعضها. يصعُب التخلص من ثاني أكسيد الكربون من خلال الانتشار البسيط في الهواء من خلال الفم، لأن الحمض الكربوني [الكربونِك] يتراكم سريعًا عندما يتفاعل CO_2 والماء. لكنْ لو لم تعمل الخياشيم، فيجب إيجاد طريقة أخرى.

هناك بديلان ممكنان: طرد بعض CO_2 من خلال سطحِ جِلدٍ رطبٍ بدلًا من الخياشيم (تفقد البرمائيات الحية المعاصرة معظم CO_2 الخاص بها بهذه الطريقة)، أو التنفس بسرعة وانتظام، مع التخلص من فقاعة الهواء التي في الفم بسرعة، قبل أن تصير حمضيةً للغاية. يعتقد الكثير من الناس [العلماء] أن الأسماك عظمية القشور ورباعيات الأقدام المبكرة استعملت أسطح الجلد لطرد CO_2، لكني أشك في ذلك. فالتخلص من ثاني أكسيد الكربون عن طريق الجلد يكون فعّالًا فقط في الحيوانات صغيرة الأحجام ذوات مساحة الجلد الكبيرة مقارنةً مع حجوم أجسادهن الصغيرة، لكن الأسماك قشرية العظام ورباعيات الأقدام المبكرة كانت كبيرة الأحجام ومغطاة بالقشور. كان جلد قاسٍ وغير منفِذ نسبيًّا سيساعد جدًّا في تجنب فقدان الماء والأملاح المذابة أثناء التعرض للهواء. بالتالي فقد تخلصت رباعيات الأقدام المبكرة من ثاني أكسيد الكربون بالتنفس السريع.

إذن فهي ليست صدفة على الأرجح أن بعض الأسماك عظمية القشور تطورت إلى فقاريات سائرة على اليابسة بينما انقرضت لحميات الزعانف الأخرى وصار البعض الآخر منها منقرضًا تقريبًا ونادرًا. الأسماك الرئوية فقط ظلت على قيد الحياة كمتنفِسات هواء في الماء الضحل بمثابة "متحجرات حية"، بطرق اعتياش متخصصة جدًّا. إن الكائنات المتنفسة للهواء في الماء الضحل المهيمِنة في العصر الحالي هي البرمائيات والزواحف والثدييات.

الأطراف والأقدام؛ لماذا يصير الكائنُ رباعيَّ الأقدام

لماذا تطورت في أسماك عظمية القشور _باعتبارها مفترِسات سريعة السباحة في الماء_ زعانف لحمية صارت بتزايد تشبِه وتعمل كطرف رباعي الأقدام؟ كيف استفادت سمكة عظمية القشور من القدرة على الدفع على قوامٍ مقاوِم [يتطلب جهد مقاومة للزحف عليه]، بدلًا من استعمال ضربات السباحة في

الماء؟ لماذا القيام برحلات إلى الهواء، بدلًا من تنفس الهواء عند سطح الماء ببساطة؟ بعبارة أخرى: لماذا صارت سمكة عظمية القشور حيوانًا رباعيَّ الأقدام؟ من الناحية التطورية، يمكن أن يكون هذا قد نتج فقط عن سلسلة من الأحداث التي أنتجت سمكة قشرية العظام مُحَسَّنة.

إن القصة القديمة حول هذه النقلة التطورية هي أن القدرة على تحمل التعرض للهواء ساعدت سمكًا عظميَّ القشورِ على العثور على بركة ماء أخرى في حال جفَّت البركةُ التي كانت قد سكنتها في موسم جفاف. هذه الفكرة خاطئة على الأرجح. ففي Everglades بفلورِدا، تمكث الحيوانات حول البرك الصحراوية المتجففة بإمداد قليل حيثما هي، بدلًا من السعي في بلد جاف على أمل العثور على ما هو أكثر؛ فالمكوث ببساطة رهان أفضل للنجاة.

التشمس؟

إن تطور زعانف لحمية قوية متدلية إلى أسفل في الأسماك عظمية القشور ساعدهن على الأرجح في صيد الفرائس الصغيرة في الماء الضحل بدفع أجسادهن خلال أو فوق الضفاف الوحلة. لقد صارت الزعانف قوية على نحوٍ كافٍ لدعم وزن السمكة _على الأقل لفترة وجيزة_ بينما هي تلهث وتشق طريقها. لم تكن التعرضات القصيرة للهواء طويلة بما يكفي للتسبب في كبيرِ خطرٍ للتجفف، لكنها أَعَدَّتْ مسبقًا الأسماك عظمية القشور لفترات التعرض الطويلة للهواء.

لو كانت بعض الأسماك عظمية القشور قد طورن عادة تشميس أنفسهن على الضفاف الطينية لتدفئة أجسادهن، فإن هضمهن كان سيصير أسرع مما كان عليه في الماء؛ وفي حال كانت كل الأمور كما نتوقع، فسوف ينمون أسرع ويبلغن أبكر ويتكاثرن بنجاح أكثر مما تتكاثر منافساتهن. كان سلوك التشمس سيكون فعَّالًا حتى لو عرَّضَتْ السمكةُ ظهرَها فقط في الأول، مدعومة على نحو رئيسي بقدرتها على الطفو. لكن هذه الفاعلية كانت ستشجع تعرضًا أطول وأتم. بعض الأسماك والكثير من البرمائيات والزواحف الحية المعاصرة (بما في ذلك الأليجاتورات والتماسيح) يتشمسون بينما يهضمون الطعام (الصورة ٨– ١١).





الصورة ٨– ١١ التشمس هام للكثير من الحيوانات باردة الدماء، بما فيها التماسيح، والذين هم أقرب شبيه ونظير إيكولُجي [في طريقة الاعتياش البيئية] لرباعيات الأقدام المبكرة.





تشمس سحالي الإجوانا للحصول على طاقة من الشمس للهضم والحياة

حينما صار نوع من السمك عظمي القشور المتشمس المتنفس للهواء أكثر تعرضًا للهواء، صار المزيد من وزنها مرتكزًا على الأرض، مهددًا بخنقها بمنع الصدر من التحرك في عملية التنفس. فصارت الزعانف الصدرية على وجه الخصوص أقوى لتحمل المزيد فالمزيد من وزن الجسم أثناء التشمس. لقد تطور جزء من الحزام الكتفي في الأصل ليدعم منطقة الخياشيم، وتطور جزء آخر ليربط مع الزعانف الصدرية. بالتالي فقد ظلت الزعانف الصدرية الخاصة بعظميات القشور متصلة بقوة مع الجمجمة والعمود الفقري، محتفظةً بالمظهر العديم الرقبة الخاص بكل الأسماك.

ربما صنع سلوكُ التشمس سمكة أكثر قدرةً على التنافس، لكننا كنا سنظل نتعرف عليها كسمكة عظمية القشور. ما هي العوامل الأخرى التي ربما تكون قد شجعت على تطورها إلى نوع جديد تمامًا في بيئة جديدة تمامًا؟

التكاثر؟

إن أكثر أجزاء دورة حياة السمكة تعرضًا للتأذي والخطر هي أيامها المبكرة كبيضة وكفرخ. إن أمكن لبعض الأسماك عظمية القشور أن تقوم برحلات قصيرة جدًّا _حتى لو كانت مترًا كبدايةٍ_ فوق اليابسة، أو فوق ماء ضحل جدًّا، فإنها كانت ستكون قادرة على على العثور على برك أو أهوار ومستنقعات دافئة صغيرةٍ أو ماء راكد محميّ مغذى من بحر أو جدول بالجوار لتُفرّخ بيضَها [تضعه] فيها. ففي هذه البرك الثانوية كان هناك مفترِسات أقل مما في الماء المفتوح، وكان البيض والصغار سيبقين على قيد الحياة على نحو أفضل بها. بنفس هذه الطريقة تقريبًا، ولنفس الأسباب، يكافح سمك السلمُن للسباحة بعيدًا ضد مجرى الماء ليضع بيضَه، وتسافر الكثير من أسماك المياه العذبة إلى مناطق تفيض موسميًّا للتكاثر.

كانت ولا تزال البرك الدافئة المعزولة أمكنة مثالية أيضًا لتكاثر اللافقاريات الصغيرة كالقشريّات والحشرات، والتي مثَّلَتْ إمدادًا غذائيًّا ثريًّا للأسماك عظمية القشور الصغيرة. ثم عندما كن يصلن إلى حجم يستطعن عنده اصطياد فرائس أكبر والذي يعطيهن بعض الوقاية من أن يُؤْكَلْنَ، كانت الأسماك عظمية القشور الفتيّة تستطي العودة إلى الجدول أو منبع الماء الرئيسي ويتخذن طريقة حيواتهن كبالغات مفترِسات للأسماك. إن أكبر سبب للموت بين صغار التماسيح (غير صيد البشر) هو كونها تأكلها التماسيح البالغة. توفر التماسيحُ رعاية أبوية مشددة عندما يكون أطفالها صغارًا. أما سحالي الإجوانا فتميل إلى فصل مواطن الأطفال عن البالغين. ربما حلت الأسماك عظمية القشور نفس المشكلة بطريقة مختلفة، بأن رتبن لأطفالهن أن يقضين وقتًا بعيدًا عن البالغين الآخرين. لاحظ أن هذه الأفضلية كانت ستظل سارية لو كانت الأسماك عظمية القشور osteolepiforms تلد مثل الأسماك مجوفة العظام coelacanths.

طرد النيتروجين

تقوم الخياشيم بما هو أكثر من تبادل الأكسجن وثاني أكسيد الكربون في الأسماك؛ فهي متضمَّنة أيضًا في تخليص الجسم من الفضلات النيتروجينية. فرغم أن فضلات الجسم كالأمونيا (النشادر) و/ أو منتجها الثانوي اليوريا أي البول يمكن التخلص منها عبر الكليتين والأمعاء، فالحقيقة أن معظم الأسماك تتخلص من معظم فضلاتها النيتروجينية من خلال الخياشيم. وحتى الأسماك الرئوية _التي تتنفس الأكسجن من خلال رئاتها_ تحتفظ بالخياشيم التي تطرد من خلالها ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين. يمر كم كبير من الماء المتدفق عبر الخياشيم، لذلك تستطيع التخلص من هذه الفضلات بفاعلية بدون تراكم خزين مركَّز منها في أنسجة الخياشيم وبقربها. على النقيض، فإن إخراج النيتروجين من خلال الكليتين يعني ضرورة بناء أعضاء ليست فقط تستطيع بل يجب أن تحتوي على تركيزات أمونيا عالية، مخرِجةً إياها في سوائل مركَّزة نسبيًّا.

حوَّلت الأسماك ذوات الفك في العادة الأمونيا إلى يوريا، ووُرِثَتْ هذه العملية في الأسماك لحمية الزعانف التي تطور أحد خطوط تحدراتها إلى رباعيات الأقدام. هذه كانت أفضلية في الأوضاع التي كانت السمكة فيها تحت ضغط الماء. فاليوريا [البول] أقل سميةً من الأمونيا [النشادر]، ويمكن تحملها بتركيزات عالية، كمثال: في أثناء فترات التعرض للهواء. تطرد الأسماك الرئوية الفضلات على شكل أمونيا عندما تكون في الماء، لكنها تحوِّل الأمونيا إلى يوريا وتخزنها عندما تكون معرضة للهواء [على اليابسة]، وتتخلص منها فقط عندما تعود مرة أخرى إلى تحت الماء. في الحقيقة، لا توجد أي أسماك حية تُخرِج النيتروجين في الهواء بأي طريقة.

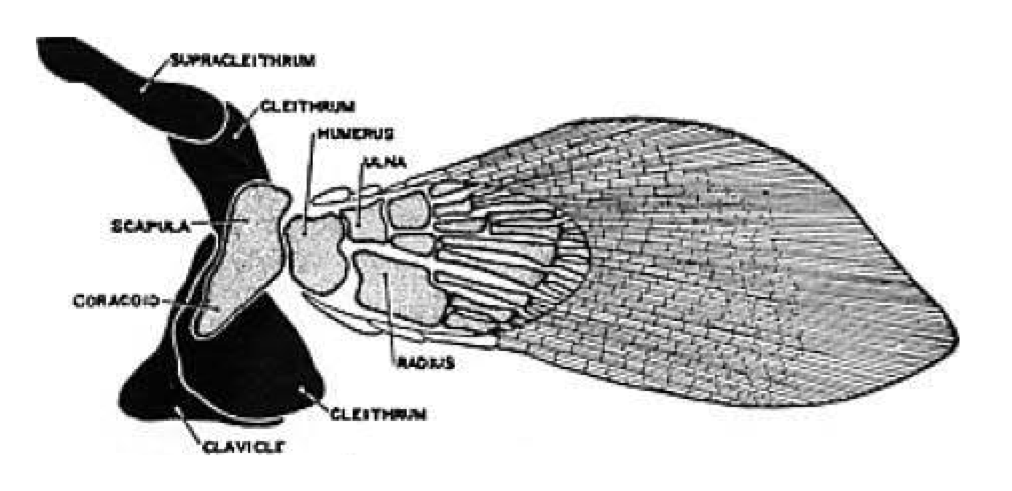
تمتلك دعاميص [فروخ] البرمائيات المعتادة خياشيمَ وتستعملها للتخلص من الأمونيا. وعندما يتحولن إلى بالغات فإنهن يفقدن خياشيمهن. عند تلك المرحلة فإنهن يتخلصن من ثاني أكسيد الكربون من خلال الرئات والجلد، ويتخلصون من النيتروجين (كيوريا [بول]) من خلال الكلى. إن اليوريا أكثر تركيزًا من الأمونيا، وبالتالي تسبب فقدانًا أقل للماء عند التخلص منها.

كما يبدو، فإن إحدى التطورات الكبيرة باتجاه الحياة في الهواء [على اليابسة] كانت تطور إخراج النيتروجين على اليابسة في الهواء [من خلال البول]. إذن فلماذا اكتسبت أوائل رباعيات الأقدام أو أسلافها هذه القدرة؟ لقد وجدَتْ Christine Janis و Colleen Farmer_اللتان صاغتا "قصة الكلية" التي لخّصتُها هنا_ أنه "يصعُب تصورُ سيناريو ملائم لتكيف.... في البيئة المائية".

لا أستطيع مقاومة الإشارة إلى أن تلك القدرة كانت ستكون تكيفية بشِدة بالنسبة لأسماك لحمية الزعانف كانت تتشمس في البداية، ثم صارت تقوم برحلات قصيرة في الهواء [على اليابسة]، ربما لوضع البيض، في السيناريو الذي حاجَجتُ لصالحه هاهنا آنفًا. ربما كانت "المراحل" البرية القصيرة مهمة جدًّا في تاريخ حياة الكثير من الأسماك لحمية الزعانف البالغة التي كانت مائية في كل بقية حيواتها، لأنها تضمنت العنصر التكاثري كلي الأهمية في حيواتها.


22




SUPRACLEITHRUM
CLEITHRUM
HUMERUS
ULNA
SCAPULA
CORACOID
RADIUS
CLEITHRUM
CLAVICLE

متحجرتان لزعنفة سمكة sauripterus ووصف تشريحي لها وكان بها الكثير من التناظر التشريحي مع عظام الأطراف والحزام الصدري لرباعيات الأقدام، وهي أقدم زمنيًّا من Eusthenopteron.

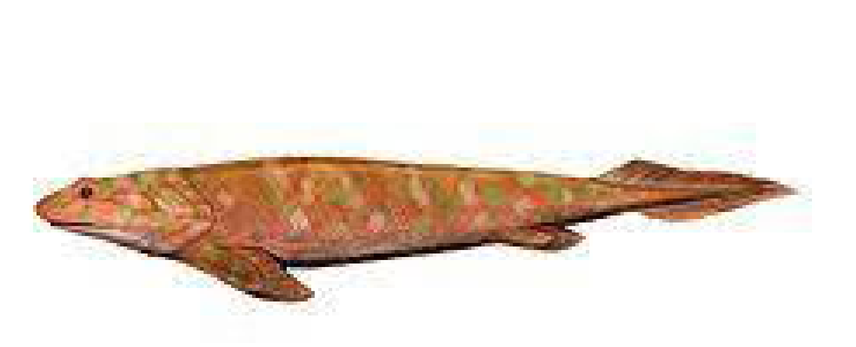
[التطور] من سمكة عظمية القشور إلى برمائي

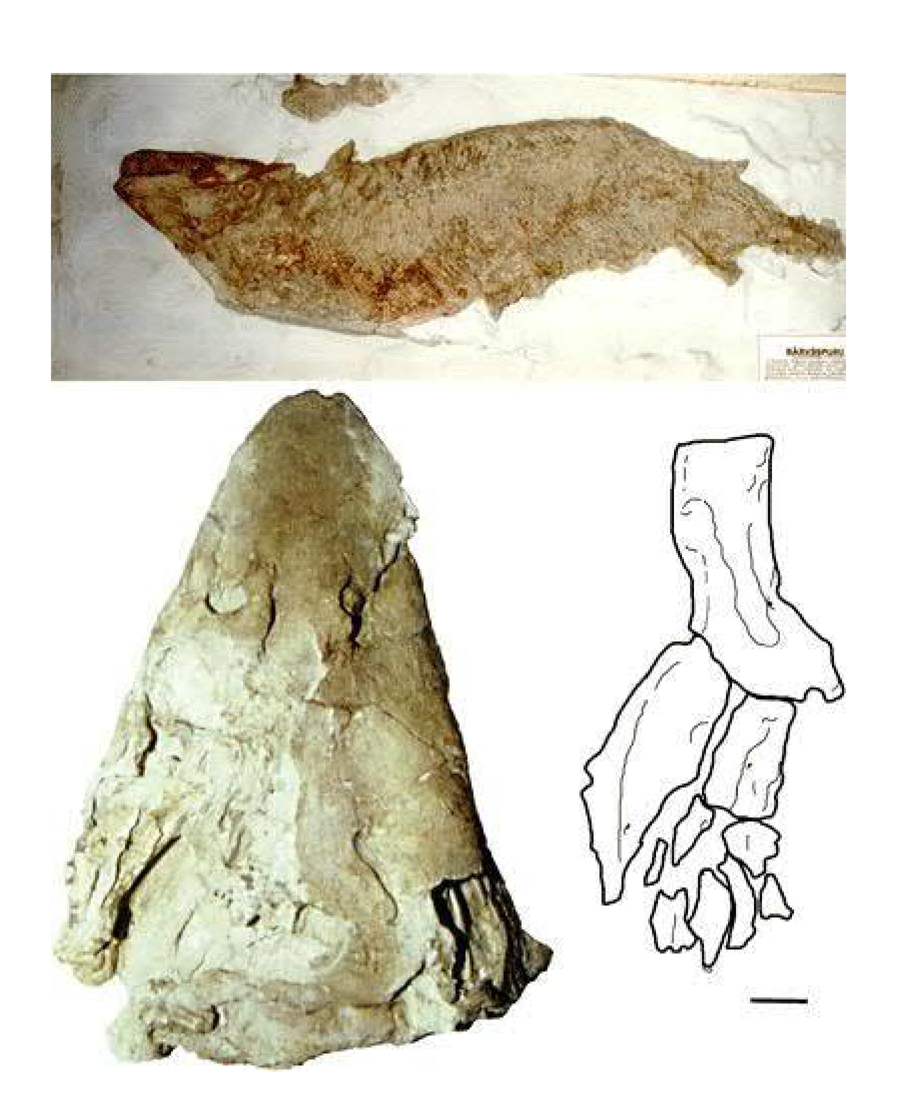
خط تحدر واحد من الأسماك ذوات القشور العظمية اتخذت المسار التطوري باتجاه رباعيات الأقدام، بينما ظلت الباقيات أسماكًا عاديّة في الأنهار والبحيرات والمياه الساحلية الضحلة. لقد عُرِفَت أسماك عظمية الزعانف مثل Eusthenopteron [يعني اسمه باللاتينية ذو الزعانف القوية] (الصورة ٨–١٠) على أنها أسلاف رباعيات الأقدام الأكثر احتمالية. إن عظام الجمجمة ونمط العظام في الزعانف اللحمية والحجم العام والشكل والتوزع الجغرافي لتلك الأسماك قريب من الخاص بأقدم رباعيات الأقدام. امتلكت الأسماك عظمية القشور زعانف لحمية ذات أجزاء عظمية تتناسب مع نمط عظمة ثم عظمتين ثم الكثير من العظام الخاص بأطراف فقاريات البر. تمتلك أطرافنا نفس الشيء: بأذرعتنا عظام عضد، وعظم كعبرة، وزند، وعظام معصم (عظام رسغ)، وعظام اليد؛ وتمتلك أرجلنا عظم فخذ وساق [ظنبوب] وشظية [عظم رسغي علوي في أقدام رباعيات الأقدام] وعظام الكاحل [رسغ القدم، الكعب]، وعظام القدم. نتشارك نحن وكل رباعيات الأقدام نفس النمط، موروثًا من الأسماك عظمية القشور.

تحسنت قدرة الأسماك عظمية القشور على الحركة في الماء الضحل وعلى الضفاف الموحلة الضحلة بزعانف أقوى، وخاصة حوافَّ زعانف أقوى. تألف التحرك على البر في البدء من نفس حركة التثني المتموج التي لا يزال السمندل يقوم بها، مع كون الزعانف تعمل ببساطة كمَحاوِر سلبية (الصورة ٨–١٢). تدريجيًّا بذلت الزعانف قوة سحب أقوى على سطح القِوام، وهو ما قد يكون قد شجَّعَ على أن تصير العظام الشعاعية الكثيرة أقل وأقوى حتى تطورت الأقدام ذوات الأصابع. في خلال تلك العملية، صارت الزعانف الصدرية تدعم الصدرَ، بينما صارت الزعانف الحوضية أفضلَ ملاءَمةً لدفع الجسد إلى الأمام. طورت الزعنفة الحوضية وصلة مفصلية عند ما يشبه "ركبة" ومفصل دوراني عند ما يشبه "كاحلًا"، وهو نمط استمر في رباعيات الأقدام. هذا الاختلاف ورَثَّتْه كل الفقاريّات اللاحقة، ألا وهو مرفقان [كوعان] ينثنيان إلى الخلف، وركبتان تنثنيان إلى الأمام.

عندما طور الحزامان الصدري والحوضي ربطًا أفضلَ مع الزعانف، تطورت الزعانف تدريجيًّا لتصبح أطرافًا واضحة بجلاءٍ. سرعان ما صار الطرفان الخلفيان قويين مثل الطرفين الأماميين وطورت روابط قوية مع العمود الفقري من خلال الحوض.





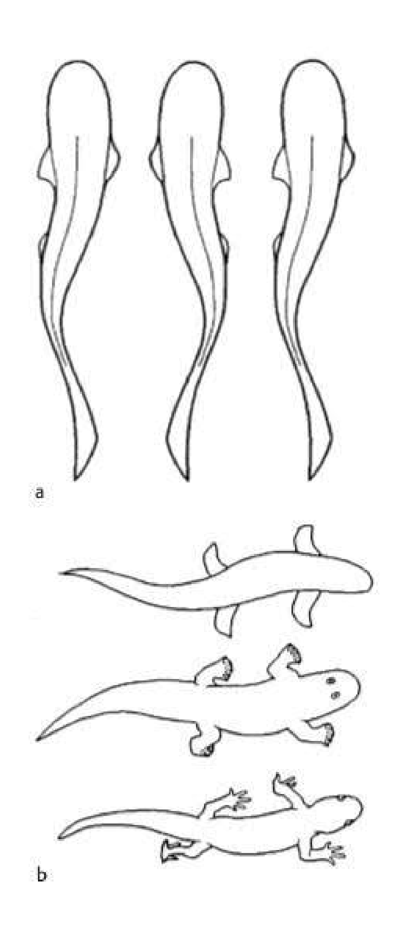


Panderichthys الباندِيرية [سميت كذلك نسبة لعالم المتحجرات Christian Heinrich Pander] سمكة مياه عذبة كبيرة مفترسة لحمية الزعانف من رتبة Elpistostegalia، من العصر الديفوني منذ ٣٨٠ مليون سنة ماضية (الفترة الفراسنية) في لاتيفيا، ولشيوعها في الماء الضحل فقد كانت زعانفها الصدرية والحوضية مرنة وشبيهة بالمجاديف، ويعتقد أنها قريبة للغاية من أصل رباعيات الأقدام وسمكة ذات أطراف شبيهة بالأقدام. فقدت الزعانف الظهرية والمؤخرية فيها، وكان ذيلها لصيقًا بالجسد، وكانت فتحتا التنفس قصيرتين وواسعتين، مما يدل على كم كبير من الأكسجن كانت تتنفسه بالرئات بدلًا من خلال الخياشيم. امتلكت رأسًا كبيرًا شبيهًا بالخاص برباعيات الأقدام، وتعتبر أكثر الأسماك مزدوجة الزعانف ذات صفات خاصة برباعيات الأقدام المصنَّفة على أساس الانتماء للمنبت التطوري [أو نقطة النشوء والتفرع] لرباعيات الأقدام الإكليلية (المتطورة عن هذا الأصل كمجموعة ناتجة). إنها مثال جيد على وضع انتقالي في تطور رباعيات الأقدام لأن حزامها الصدري يُظهر سمات مشتقة متطورة بينما احتفظ حزامها الحوضي بسمات سلفية. لاحقًا في السلالة التي تطورت عنها رباعيات الأقدام كانت إحدى التغيرات الرئيسة في الهيكل الزائدي خلال النقلة التطورية من الماء إلى اليابسة هي التحول في الحركة من هيمنة اللواحق الصدرية إلى هيمنة اللواحق الحوضية. ورغم أن الباندِيرية لا تُظهر هذا التغير في الهيمنة على الحركة، فإنها تبدو كما لو كانت قادرة على نوع ما من القدرة على الحركة بالتثني على الماء الضحل أو اليابسة وأنها امتلكت القدرة على دعم نفسها فوقها.

حدثت تغيرات أخرى أيضًا أثناء تطور الأسماك عمية القشور إلى رباعيات الأقدام. فتطورت بشرة جلدية لمقاومة فقدان الماء، وقُوِّيَت الزعانف لتصير أطرافًا لأجْل الحركة ودعم الجسم، وتحسنت الحواس بما يناسب وسطًا هوائيًّا. وإيكولُجيًّا، قسَّمَت رباعياتُ الأقدام والأسماك عظمية القشور المواطن عندما اختلفوا وتباعدوا تطوريًّا. قضت الأسماك عظمية القشور المنحرفة (رباعيات الأقدام المتطورة) المزيد فالمزيد من الوقت عند وقرب حافة الماء، متشمِسَةً ومستدفِئةً، بينما ظلت الأسماك عظمية القشور كائناتٍ للماء المفتوح.

رباعي الأقدام الأول كان أول حيوان طور أقدامًا بدلًا من الزعانف، مع ملاحظة أن هذا تعريف لرباعي الأقدام على أساس المنبت [أو الجذر أو نقطة التفرع التطورية]. لقد صار واضحًا أن أصابع اليدين والقدمين _لنكون دقيقين من جهة علم التشريح_ كانت بُنيةً جديدة، أضيفَت على العظام التي كانت موجودةً في زعانف السمك ذي القشور العظمية. عندما تطورت الأقدام فإنها كانت مفصولة عن باقي عظام الأطراف بمفصل عند ما نستطيع تسميته حينئذٍ كاحلًا أو رسغًا.

وبما أن الأقدام والأصابع والكاحل (أو الرسغ) تكوِّن تركيبة معقدة من بنيوات العظام، فلا بد أنها قد تطورت تدريجيًّا. على نحو واضح، لو امتلكنا الكثير من المتحجرات فسوف نستطيع رؤية ذلك يحدث. لدينا فقط فتات أو كِسَر من متحجرات رباعيات أقدام مبكرة جدًّا، لذلك يجادل العلماء أي كسرة يمكن تحديدها على أنها لأول رباعي أقدام.



الصورة ٨- ١٢ (أ) تسبح الأسماك بتمويج وتثنية الجسم على نحو رئيسي، بينما يتأرجح الجسم بدرجة أقل. (ب) نفس حركات الجسد الرئيسية استعملتها الأسماك عظمية القشور في السباحة أو التلوي على الضفاف الموحلة، وكذلك استعملتها رباعيات الأقدام المبكرة الزاحفة، وكذلك السمندل السائر على أرض جافة. لم تكن هناك تغيرات مفاجئة أو كبيرة في آلية التحرك متطلَّبة للنقلة التطورية، رغم أن السمك يمتلك زعانف والسمندل يمتلك أقدامًا.

أوائل رباعيات الأقدام

التيكتاليك Tiktaalik (اكتشف عام٢٠٠٤) [ملحوظة: هذا المقال مأخوذ ومترجم من موسوعة ويكيبديا الإنجليزية وليس من الكتاب المترجم الذي بين أيدينا وإنما أضفته للأهمية- لؤي عشري]

تيكتاليك هو نوع من الأسماك اللحمية الزعانف المنقرضة أي شحمية الزعانف (التي زعانفها متصلة بأنسجة رابطة بالجسم فهي مثل شحمة الأذن)، من العصر الديڤوني المتأخر؛ مع الكثير من الملامح والخصائص المشابهة لتلك الخاصة بالحيوانات رباعية الأقدام، انها مثال على التطور التدريجي لسمكة عتيقة مع تكيفات مع بيئة المياه الضحلة الفقيرة الأُكسجين المذاب، التي يعتقد أنها تطورت فيها في ذلك الوقت. والتي أدت بتطورها في النهاية الى ظهور البرمائيات أو بتعبير أدق رباعيات الأقدام المبكرة، وقد عثر على متحجرات أحفورية ممتازة لهذا الكائن في عام ٢٠٠٤ على جزيرة Ellesmere بمدينة Nunavut بدولة كندا. والتيكتاليك عاش منذ حوالي ٣٧٥ مليون سنة ماضية، علماء المتحجرات يقترحون أنها كانت شكل أوسط بين أسماك مثل Panderichthys التي عاشت منذ ٣٨٥ مليون سنة تقريباً، ورباعيات الأقدام المبكرة مثل Acanthostega و Ichthyostega اللذين وجدا في حوالي ٣٦٥ مليون سنة ماضية .

خلطُ وجمعُ كائنِ التيكتاليك ما بين الصفات المميزة لكل من الأسماك ورباعيات الأقدام دفع أحد مكتشفيه الى تسميته (سمكة شبه رباعية الأقدام) أو (سمكة ذات شبه أقدام) وهو العالم Neil Shubin

وصف الكائن

تيكتاليك هو أحفورة انتقالية، من الأسماك الى رباعيات الأقدام المبكرو في سلسة التطور؛ وهو يمثل لرباعيات الأقدام ؛ ما يمثله متحجر الطير العتيق أو الديناصور المجنح بالنسبة للطيور كحلقة الانتقال من الزواحف الى الطيور. تيكتاليك تختلط فيه الخصائص المميزة لكل من جنس الأسماك وجنس رباعيات الأقدام ؛كالتالي :

من الأسماك: له خياشيم ،وله حراشف

سمكة رباعية الأقدام: هو نصف سمكة ونصف رباعي الأقدام :له عظام أطراف ومفاصل متضمنةً مفصل معصم وظيفيّ، ويلاحظ أن العظام متشعبة، وهو شبيه بالسمكة من حيث أن له زعانف بدلاً من أصابع وأقدام .

من رباعيات الأقدام: له عظام ضلوع، له رقبة متحركة، له رئتان
تيكتاليك عموماً لديه السمات والصفات المميزة لسمكة، لكن مع زعنفتين أماميتين يظهر فيهما شبه ذراعين، ذواتا بنية هيكلعظمية أقرب شبهاً الى التمساح، متضمنتين كلاً منهما كتفاً، ومرفق(كوع)، ومعصم، أما الزعنفتان الخلفيتان والذيل أو المؤخرة فلم يتم العثور على نماذج لهم بعدُ، كان الكائن له الأسنان الحادة الخاصة بالمفترسات، ورقبته كانت قادرة على التحرك بحرية حول الجسم، وهو الأمر غير الممكن وغير المستطاع بالنسبة للأسماك، كان الكائن كذلك يتميز بجمجمة مسطحة مفلطحة مشابهة لجمجمة التمساح، العينان في أعلى رأسه تدلان على أنه كان يقضي الكثير من الوقت ناظراً الى الأعلى، العنق والضلوع مشابهة لما لدى رباعيات الأقدام، مع وجود الضلوع استُخدمت لدعم جسمه وللمساعدة في التنفس بواسطة الرئتين، يلاحظ فكان متطوران بشكل جيد ملائمان لاصطياد الفرائس ،وشقان خيشوميان طويلان مستقيمان ضيقان يسميان بالفتحتين التنفسيتين أو الأخدودين الأذنيين (وهاتان تحولتا في معظم الحيوانات التي تطورت ونشأت بعد ذلك أصبحتا الأذنين).

نماذج أحافير الكائن وجدت هكذا كما نعرضها لكم هنا، بعيدات عن بعضهن بمعدل 4 الى ٩ أقدام (١,٢ الى٢,٧٥ متراً).

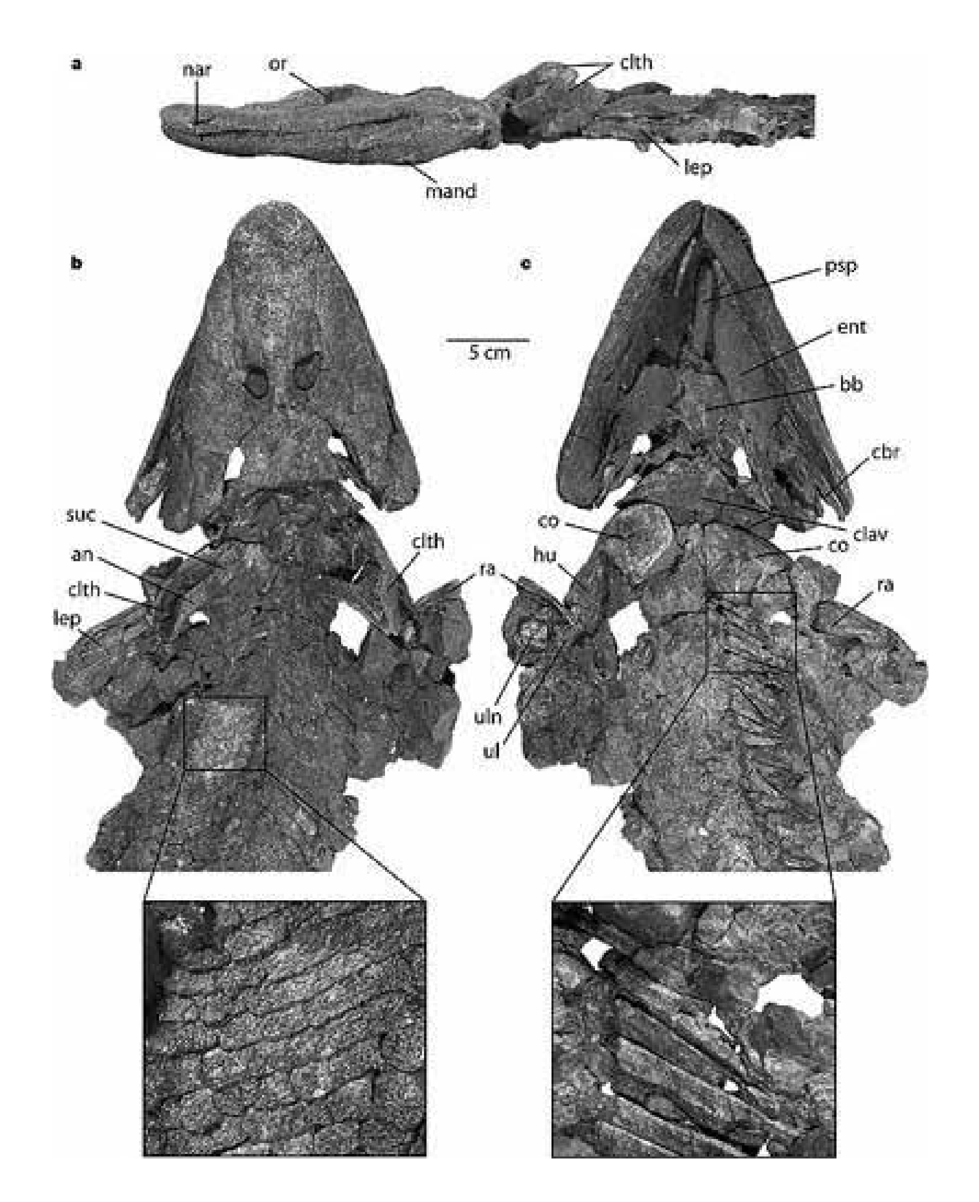
الأحافير عُثر عليها ببنيتها التركيبية، سليمة غير مفككة، العلماء لديهم من أدلة الترسيبات ذات الشكل الجدولي المتعرج ما يقترح حيواناً عاش على قيعان المياه الضحلة وربما حتى خارج الماء لفترات قصيرة، مع هيكل عظمي يدل على أنه كان يستطيع أن يدعم جسمه تحت قوة الجاذبية سواءً عميقاً جداً أو على الأرض، في ذلك العصر –أي الديڤوني– ظهرت وازدهرت لأول مرة الأشجار النفضية (الموسمية) وسنوياً كانت تطرح أوراقها فيسقط بعضها في المياه، جاذبةً الفرائس الصغيرة الى المياه الدافئة المستنقعية الفقيرة بالأكسجين المذاب، حيث كان صعباً على الأسماك الأكبر حجماً العوم فيها. وافترض العلماء أن هذا الكائن كان متخصصاً في الحياة في الجداول الضحلة، وربما البيئات المستنقعية، ويحتمل كذلك بعض البرك، وربما كان أحيانا يستخدم زعانفه المتكيفة المتخصصة جداً للتحرك على سطح البر، وذا هو الأهم على الأخص هنا؛ فذاك الكائن طور خصائص هي التي في آخر الأمر ستمكن الحيوانات من استعمار واستغلال البر، بعد أن كانت الحياة في الماء فقط .

اكتشاف متحجرات التيكتاليك:
الثلاث متحجرات للهياكل العظمية للتيكتاليك اكتُشِفت في نهرٍ مترسباتٍ بجوار جزيرة Ellesmere في Nunavut في شماليّ كندا. وقتَ وجود هذا النوع كانت جزيرة إليسمر جزءً من القارة الأم الواحدة قبل انقسام الأرض الى قارات، وكانت الجزيرة متمركزة حينها على خط الاستواء وكانت ذات مناخ حار دافئ . وقد كان فريق البحث وقادته ينقبون في جزيرة إليسمر عن الحفريات منذ عام ١٩٩٩م . وكانت بداية الاكتشاف أن أبصر أحد علماء الفريق جمجمة بارزة للكائن من جرف، وقد أُعْلِنَ عن الاكتشاف ونشر في ٦ أبريل ٢٠٠٦، واشتهر كمثال للحلقات الوسطى الانتقالية بين الأجناس؛ ودليلاً قاطعًا على حقيقة التطور البيولوجي، وقد صرح العالم الخبير في تطور رباعيات الأقدام من جامعة Cambridge university العالِم Jennifer A. Clack عن التيكتاليك (انه أحد تلك الأشياء التي تستطيع أن تشير اليها وتقول: أنا أخبرك أن ذلك الكائن كان موجوداً؛ وهاكَ هاهو فانظر اليه) وصرح فريق التنقيب على لسانDaeschler : (لقد كان ذلك بالضبط هو الحلقة الوسيطة الانتقالية المفقودة التي كنا نبحث عنها) أي بين الأسماك ورباعيات الأقدام المبكرة.





صورة تشريحية للتيكتاليك :



التعليقات

صور تشريحية من زوايا الجنب والأعلى والأسفل لحفرية الكائن (التيكتاليك) عرضتها الكثير من المواقع

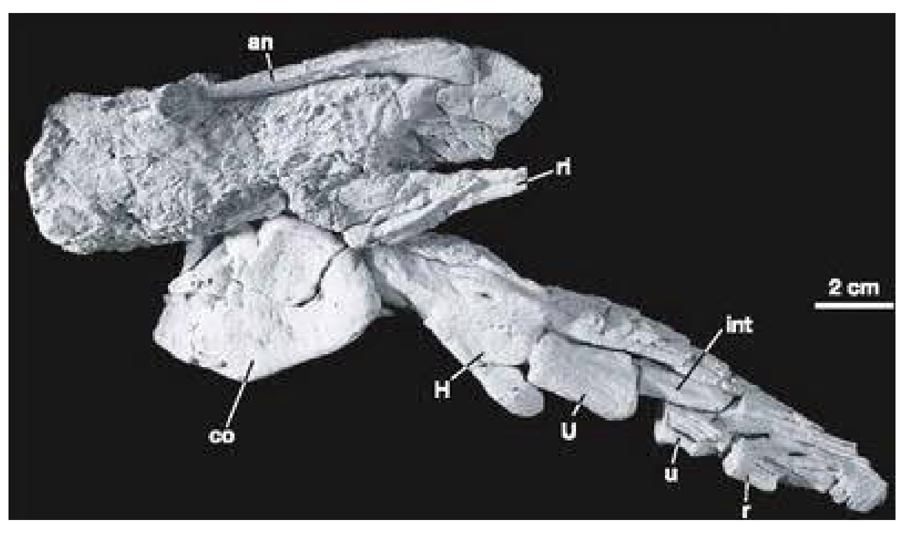
a منظر من الجانب الأيسر؛b منظر ظهري مع صورة مكبرة أدناها للحراشف، c منظر بطني مع صورة مكبرة أدناها للضلوع الأمامي .

الاختصارات

bb خيشوم سفلي؛ co عظام الكتف (العظم الغداقي) : نامية عظمية لدى رباعيات الأقدام تبرز من العظم الكتفي الى عظم الصدر)،clav عظمتا الترقوة (العظمتان اللتان في أعلى الصدر الرفيعتان؛ بين ثغرة النحر والعاتق)؛ cbr خيشوم قرني، ent منطقة العظم الوتدي للجمجمة _ينبغي أن أشير الى أن كثيرا من المواقع العلمية أشارت الى أن الجمجمة أي الرأس، والرقبة أكثر تطوراً مما لدى الأسماك، hu عظمة العضد (الجزء الأعلى من الذراع ؛الممتد من الكتف حتى الكوع)، lep حراشف منشعرة أي مغروزة كالشعر، mand عظام الفك السفلي، nar ثقب الأنف، or محجر العين،psp شبه عظم وتدي (العظم الوتدي عظم مركب يوجد في قاعدة الجمجمة)،ra عظم الكعبرة (أي أحد عظمتي الساعد الأكثر قرباً الى اصبع الابهام)، ul عظم الزند (العظم الممتد من الكوع الى معصم اليد)؛ uln عظام زندية.

نسبة الصورة إلى ٥ سنتيمرات

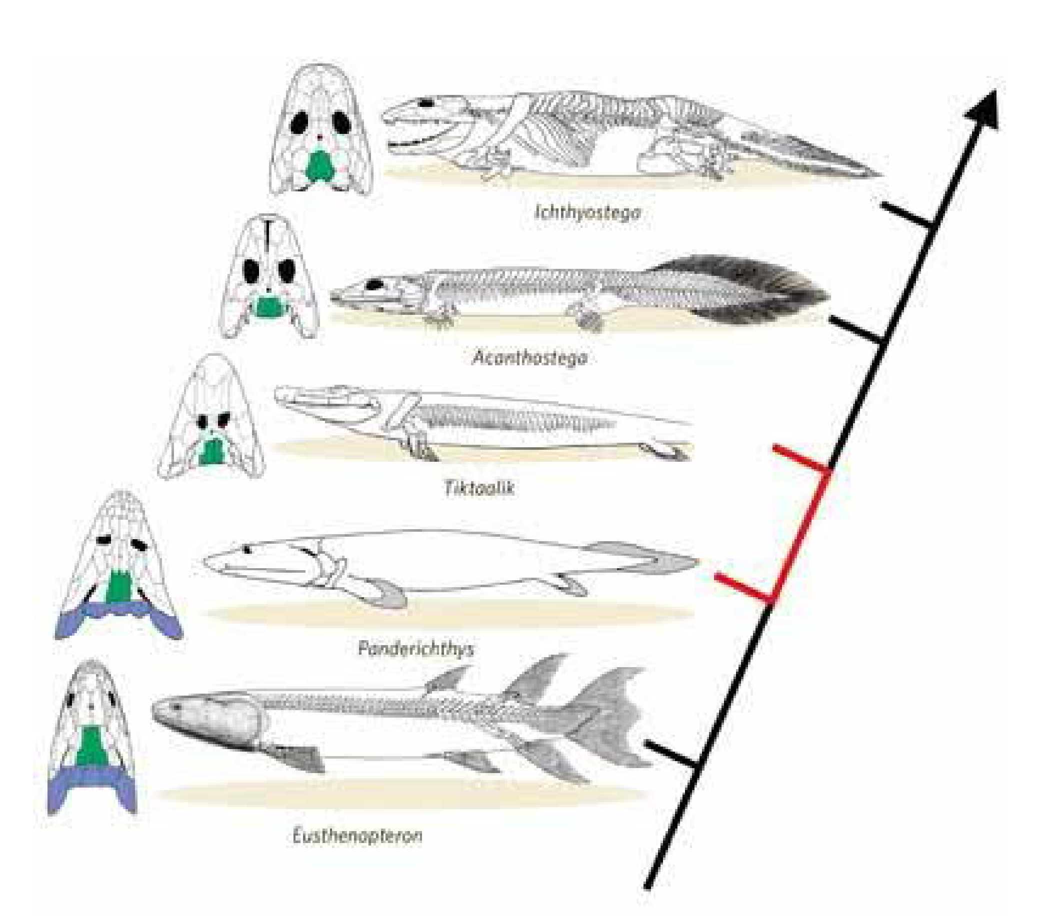
صورة لطرف من الطرفين الأماميين :



الاختصارات

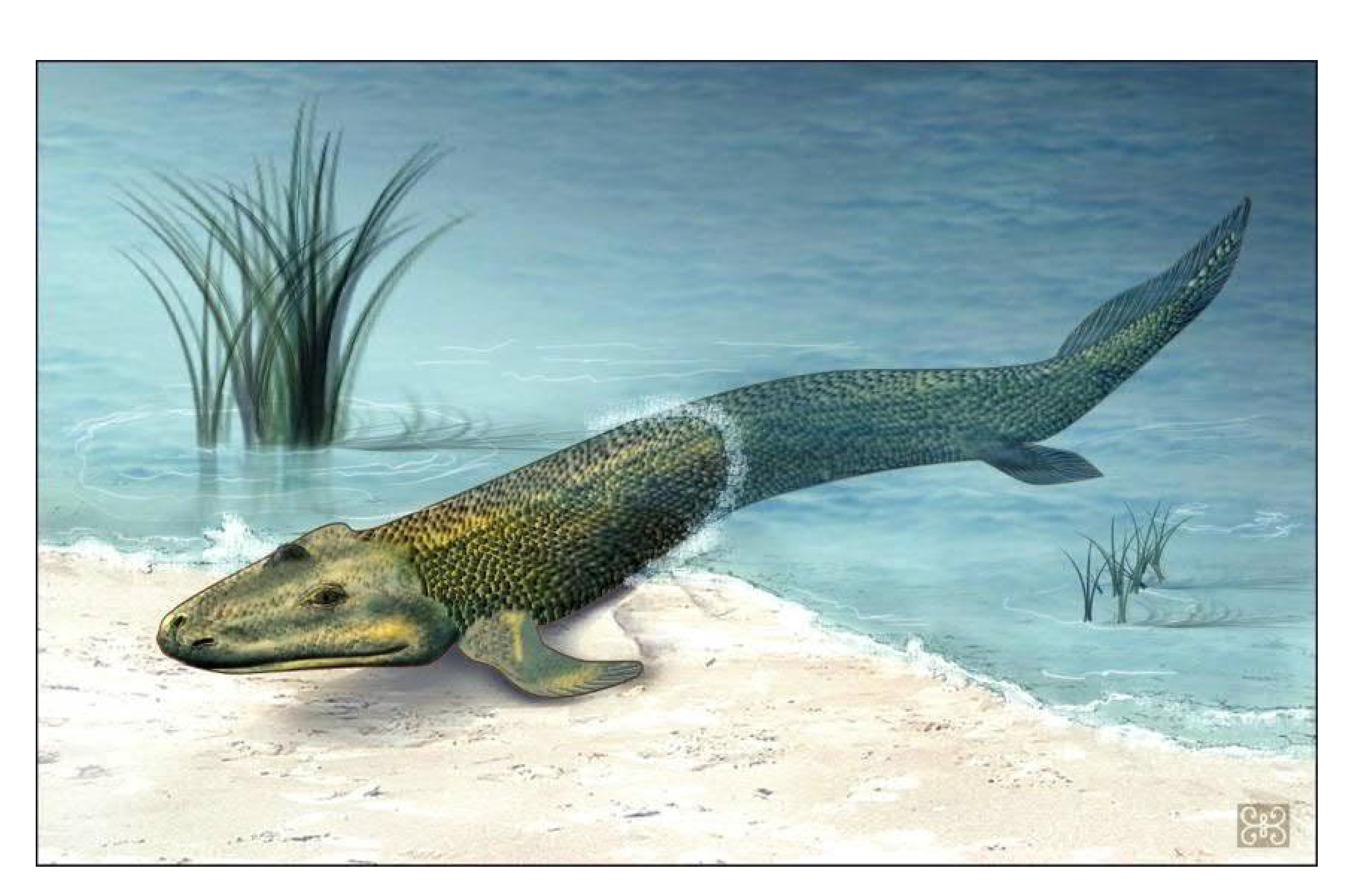
(an) anocleithrum، rib(ri) ضلع، coracoid(co) العظم الغداقي:عظم الكتف، humerus(H) عظم العضد، ulna(U) عظم الزند، ulnare(u) عظام زندية، radials(r) عظام الكعبر [أي مجمع عظمتين]، intermedium(int) عظم أوسط

خط التطور المتسلسل أو خط الأنواع التي ترينا خط التطور العام ومراحله :



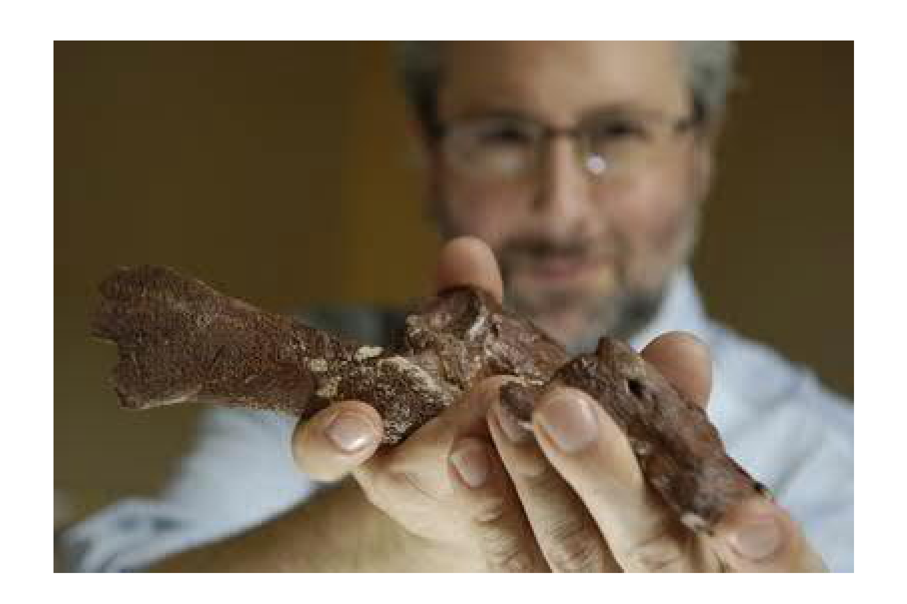
ان خط النسب التطور الذي أدى الى ظهور رباعيات الأقدام الحالية تضمن العديد من حفريات الحيوانات الانتقالية في الجسر التطوري من الأسماك الى رباعيات الأقدام (من جهة التصنيف على أساس التفرع التطوي)، السمكة Eusthenopteron، والسمكة panderichthys، والتيكتاليك Tiktaalik،

والبرمائي الأولي Acanthostega، وأخيراً أول حيوان "برمائي" معروف Icthyostega، جدير بالذكر أن السمكة panderichthys كانت ذات عظام هيكلية أنبوبية ،كما ترون أعلاه الى اليسار صور الجماجم بمنظر علوي ترينا تناقص حجم الخيشوم(مظلل بلون أزرق) والتناقص في حجم العظام الجدارية الخلفية للجمجمة (اللون الأخضر)؛والتغير التدريجي في شكل الجمجمة ،كل هذه الحيوانات تعود الى العصر الديفوني المتأخر الوسيط والذي كان بين ٣٨٥ مليون عام ماضية (Panderichthys) الى ٣٦٥ مليون عام ماضية (Acanthostega) و(Ichthyostega)يلاحظ أن التيكتاليك كان لديه أشواك الزعانف كالأسماك ومثل سلفه السابق السمكة Panderichthys تلك السالفة الذكر،لكنه كان قويّ البنية العظمية وعظامه فيها الكثير من خواص رباعيات الأقدام كما قلنا سابقاً؛ ويلاحظ أن فقرة العنق الثانية تسمى الفائق(axis) قوية لديه .

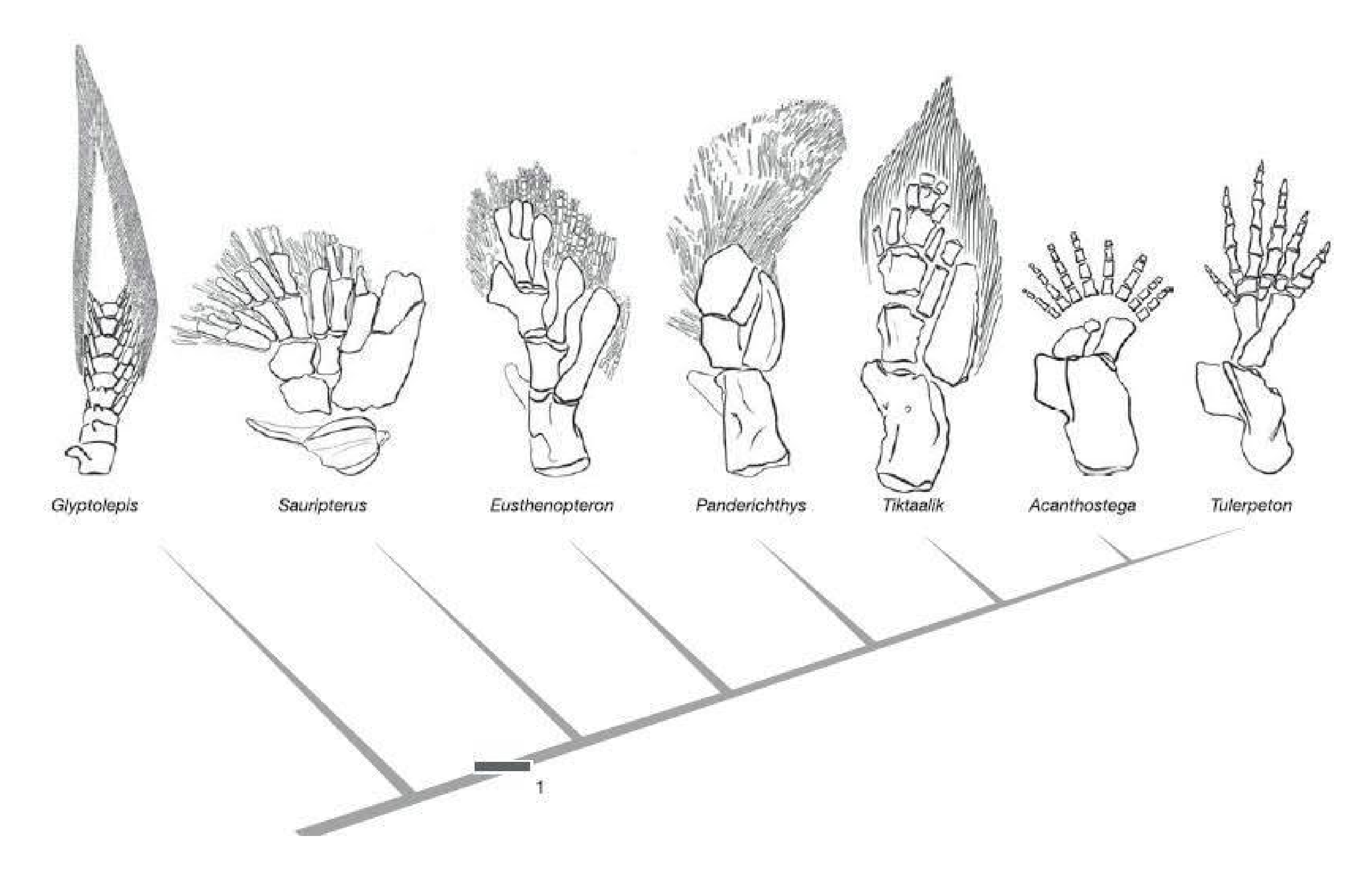


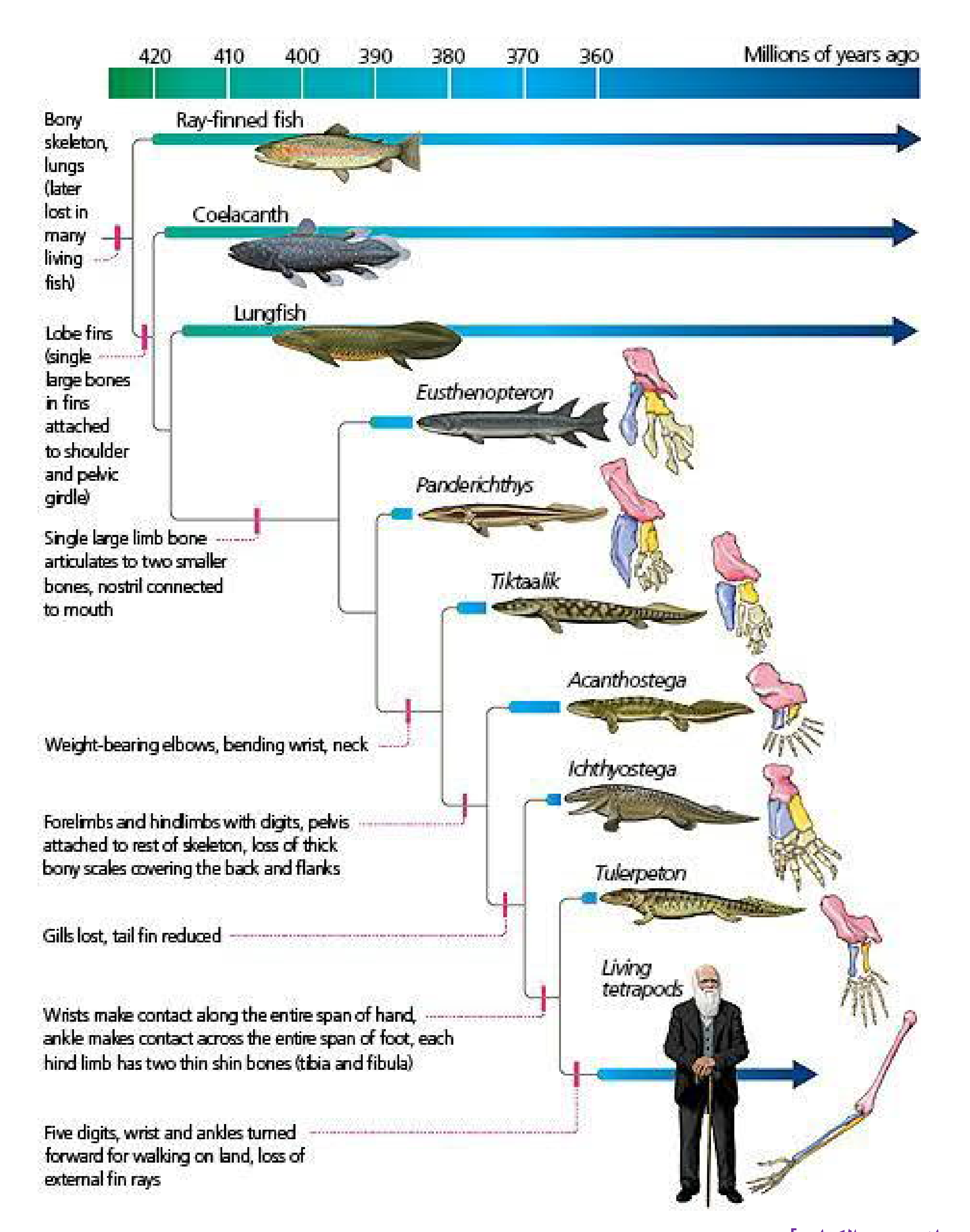


وهذه صورة طريفة للتيكتاليك مع الأستاذ الجامعي والمنقب نيل شوبين من فريق العلماء الذين وجدوه



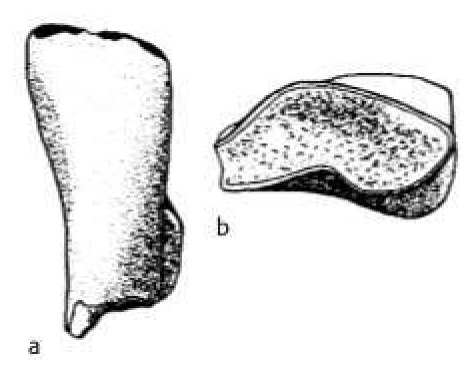

Fenor blev till ben
Under 20 miljoner år förvandlades fenorna på en urtidsfisk först till fenor med leder och sedan till framben.
رجل امامية
Tetrapod
360 مليون عام
حلقة تتطور متوسطة
زعنفة
Tikaalik
375 مليون عام
سمك ماقبل التاريخ 380 مليون عام


Glyptolepis
Sauripterus
Eusthenopteron
Panderichthys
Tiktaalik
Acanthostega
Tulerpeton
1

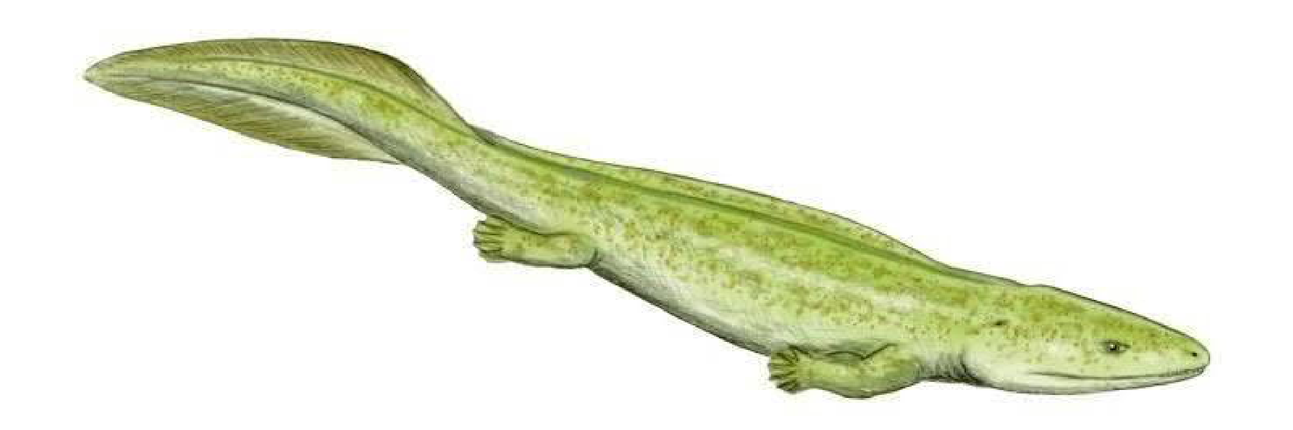


[نهاية المقال المترجم المضاف عى الكتاب]

[أمَّا] Elginerpeton [رباعي أقدام Elgin الماشي زحفًا] من صخور العصر الديڤوني المتأخر في إسكتلندا (ربما حوالي ٣٦٨ مليون عام ماضي) فامتلك عظم قصبة ساق (ظنبوب) مع سطح مفصل عند طرفه الأدنى، مما يدل على أنه امتلك "كاحِلًا" (الصورة ٨– ١٣). إن فكه أيضًا مشابه للخاص برباعي أقدام أكثر مما هو للخاص بسمكة. كان Elginerpeton كبير الحجم، الفك وحده كان طوله ٤٠ سم (يعني قدم أو أكثر)، ولابد أن الحيوان بكامله كان عدة أضعاف ذلك (قدر البعض طوله بأنه كان مترًا ونصف المتر). يوجد بعض التردد في وصف Elginerpeton بأنه رباعي أقدام لأننا لا نزال لا نملك أقدامه، لكن عمومًا فإن الدليل يشير إلى أنه كان كذلك.



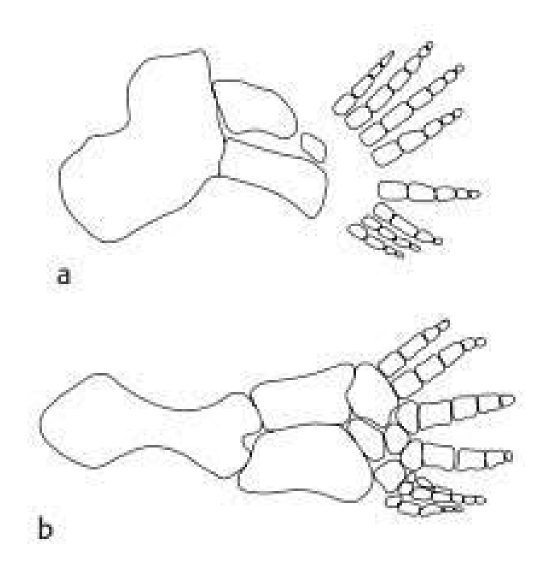
الصورة ٨– ١٣ Elginerpeton من العصر الديڤوني المتأخر في إسكتلندا. (أ) متحجرة عظم قصبة الساق محفوظة على نحو كاف، بحيث نرى من خلال مفصل الكاحل في الصورة (ب) أن ذلك الحيوان استطاع المشي.



إعادة بناء لـ Elginerpeton كما تصوره البعض

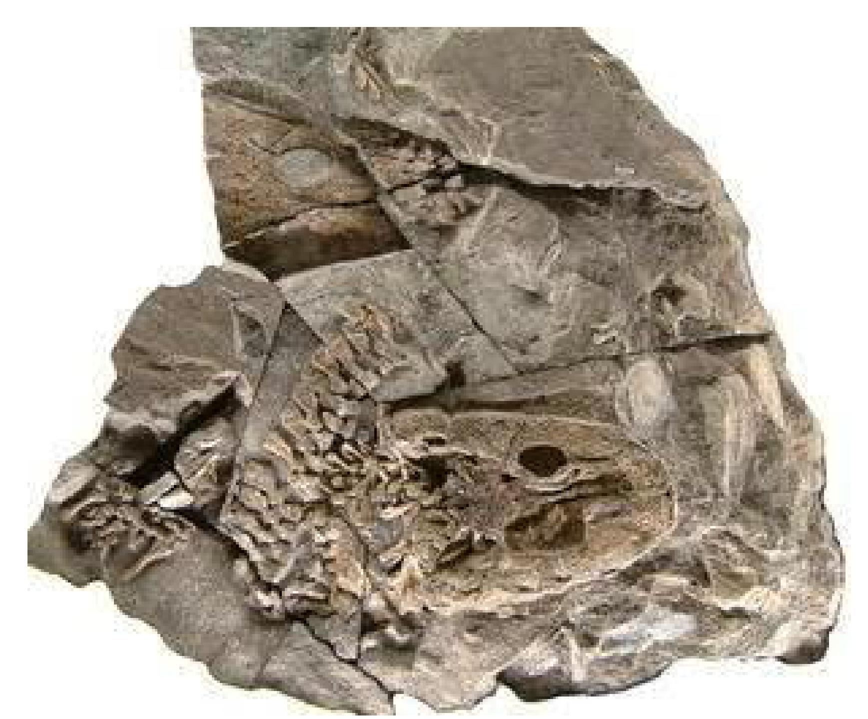
لاحقًا قليلًا، نجد قطعًا وكسرًا لرباعيات أقدام من مواضع منتشرة على نحو واسع خلال المناطق الاستوائية الخاصة بآخر فترات العصر الديڤوني. إن Ichthyostega [سمكة السطح أو رباعي الأقدام المشابه للسمكة باللاتينية] و Acanthostega [رباعي الأقدام ذا الأشواك أيْ العظام السمكية] هما اللذان نحن نحن أكثر معرفةً عنهما، من خلال متحجرات هياكل عظمية كاملة تقريبًا من جرينلاند، و Tulerpeton [رباعي الأقدام المعتاش في الماء الموحل من منطقة تولا Tula في روسيا] من روسيا من كومة عظام قد تنتمي إلى أكثر من حيوان واحد. ليس هناك متحجرات رباعيات أقدام ديڤونية أخرى كاملة على نحو كافٍ لقول الكثير عن بيولُجيَّتها (أو في الحقيقة عن مواضعها التطورية). إن أفضل طريقة للتعامل مع ذلك هي بوصفها "رباعيات أقدام غصنية أو باعتبار المنبت التطوري [نقطة التفرع على شجرة تطور أشكال الحياة]". عاشت رباعيات الأقدام المعتبرة كذلك من حيث المنبت التطوري خلال مليوني سنة، في زمن قريب من التُخم الديڤوني الكربوني (منذ ٣٦٣ مليون سنة ماضية). كانت المفصليات والنباتات الصغيرة غير ملائمة لإمداد الغذاء لهذه الرباعيات الأقدام المبكرة، لأنها كانت كلها كبيرة الحجم (أطوالها كانت أكثر من متر). أكلت تلك الحيواناتُ الأسماكَ في الماء. بعد ذلك، صارت هناك تباينات مثيرة للاهتمام.

امتلكت رباعيات الأقدام المَنشئية أو من جهة تصنيف منبت التطور الكثير من الأصابع. وقد تنوع الرقم، لكنه لم يكن خمسةً؛ فـAcanthostega امتلك ثماني أصابع و امتلك Ichthyostega سبعةً (الشكل ٨– ١٤)؛ وامتلك Tulerpeton ستة. رغم أن عدد الأمثلة محدود، فيبدو أن نقص عدد الأصابع مرتبط بالاستعمال ذي الصلة للأقدام في دفع الجسم على القاع. يمكن أن يكون Tulerpeton قد سار على نحو جيد تمامًا على البر، أما Acanthostega فكان أكثر تكيفًا بكثيرٍ للحياة في الماء، وكان في وضع ما متوسط بين الاثنين.

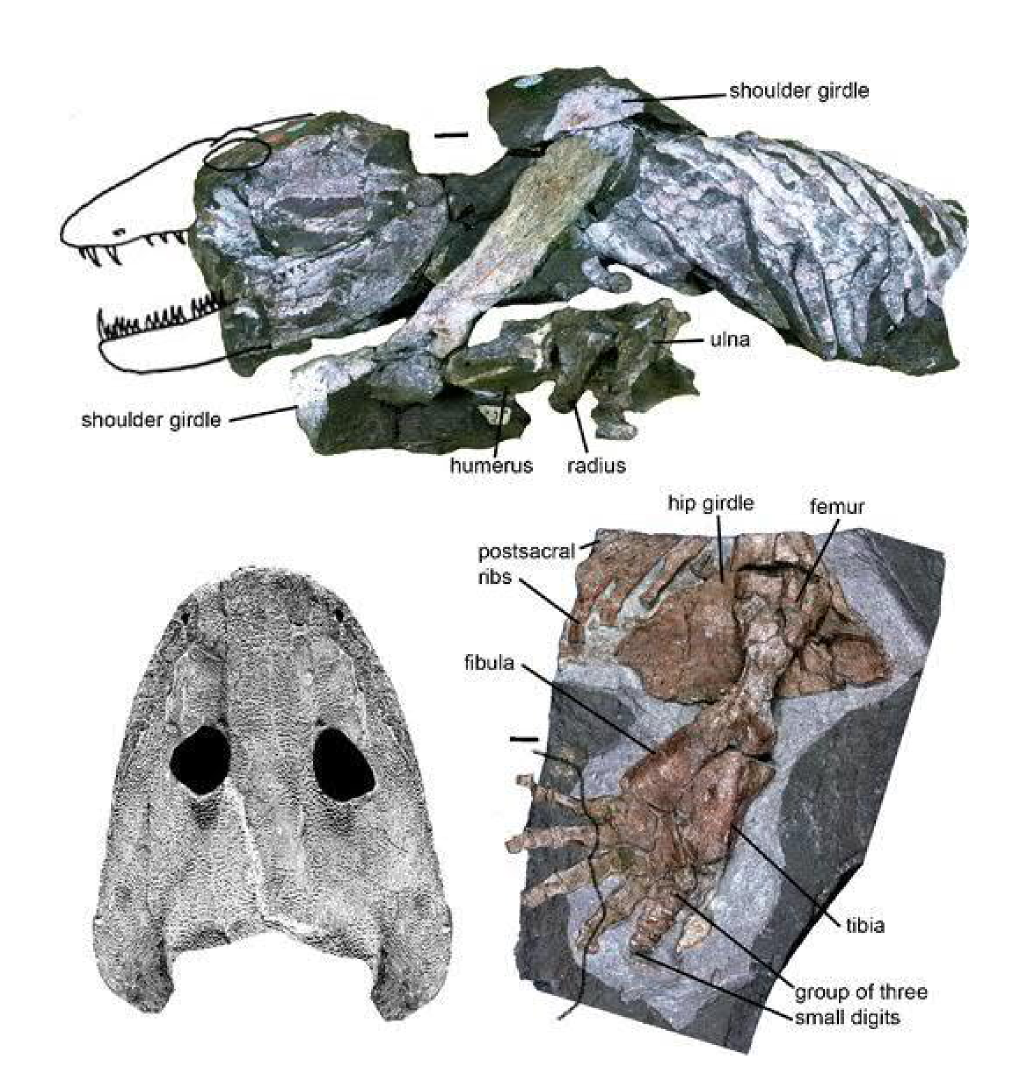


الصورة ٨– ١٤ الأقدام والأصابع المبكرة، من رباعيَيْ أقدام من العصر الديڤوني المتأخر في ما هو حاليًّا جرينلاند. (أ) الطرف الأمامي لـAcanthostega، ورغم أن الطرف كان له بوضوح ثماني أصابع، فقد بدا زعنفة وظيفيًّا أكثر من كونه قدمًا للمشي. (ب) الطرف الخلفي لـ Ichthyostega. وبه سبعة أصابع (أو على وجه الدقة ستة ونصف).





بعض متحجرات Acanthostega









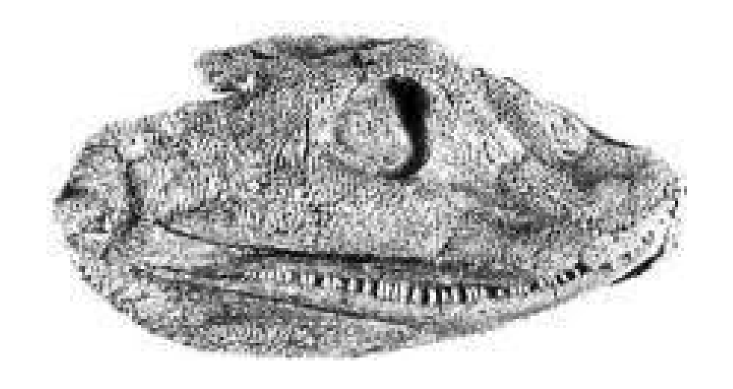
بعض متحجرات Ichthyostega

يبدو أن Acanthostega (الصورتان ٨– ١٥ و٨– ١٦) امتلك معظم البيوجية الشبه سمكية الخاصة برباعيات الأقدام المصنفة كذلك من جهة المنبت التطوري. فقد كان لا يزال يملك خياشيم عاملة كمثال، مما يعني أنه استطاع التنفس تحت الماء وكذلك في الهواء. لقد كانت أطرافه الأمامية ضعيفة حقًّا، ولم تكن ضلوعه متقوسة لدعم وزنه على نحو جيد، وكان طرفاه الخلفيان ذوي الثمانية أصابع لا يزال إلى حد ما شبيهين بالزعانف. ربما كان أفضل تكيفًا لافتراس الأسماك في المياه المحولة المفعمة بالأعشاب، وربما لم يكن قادرًا على دعم وزن جسمه لفترة طويلة خارج الماء.

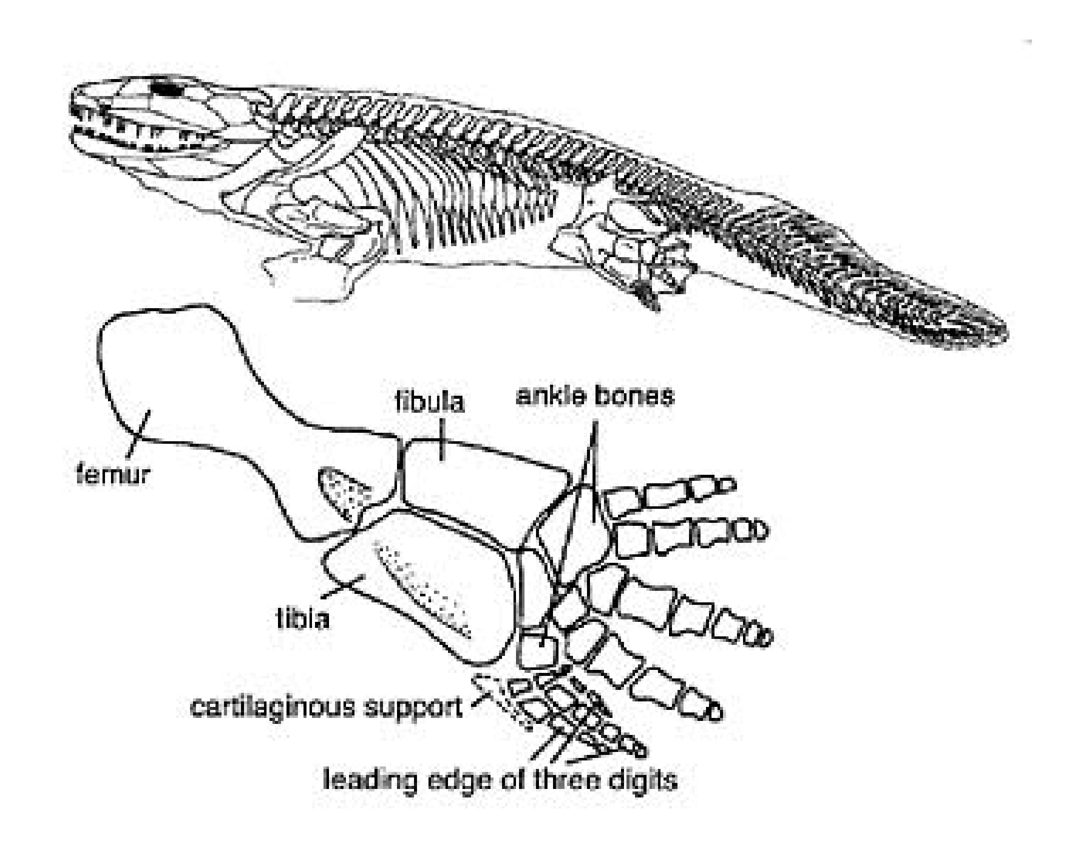
امتلك Ichthyostega هيكلًا عظميًّا ضخمًا لكنه فيما عدا ذلك كان مشابهًا جدًّا للأسماك عظمية القشور من العصر الديفوني المتأخر في العمود الفقري والأطراف والأسنان والفك والحنك (سقف الحلق) وبُنية الجمجمة (الصورة ٨– ١٧)، وعلى الأرجح في النظام الغذائي وكيفية التحرك. ومثل الأسماك عظمية القشور osteolepiforms، فقد امتلك زعنفة ذيلية لكنه بخلافهن امتلك قفصًا صدريًّا قويًّا وأطرافًا وأقدامًا بدلًا من الزعانف اللحمية. لقد حل Ichthyostega مشكلةَ دعم الصدر لأجْلِ التنفس على الشاطئ بامتلاكه مجموعة ضخمة من الأضلاع متصلةً بالعمود الفقري (مقارنةً مع الخاصة بـAcanthostega في الصورة ٨– ١٥). سوف أجادِل بأن تلك الأضلاع كانت تكيفًا لأجل الجولات على اليابسة في الهواء.



الصورة ٨– ١٥ إعادة بناء لـAcanthostega تعكس اكتشاف أن أطرافه كانت متكيفة للعمل على نحو أفضل في الماء أكثر مما على البر. رغم ذلك فإن بنيته بنية رباعي أقدام.

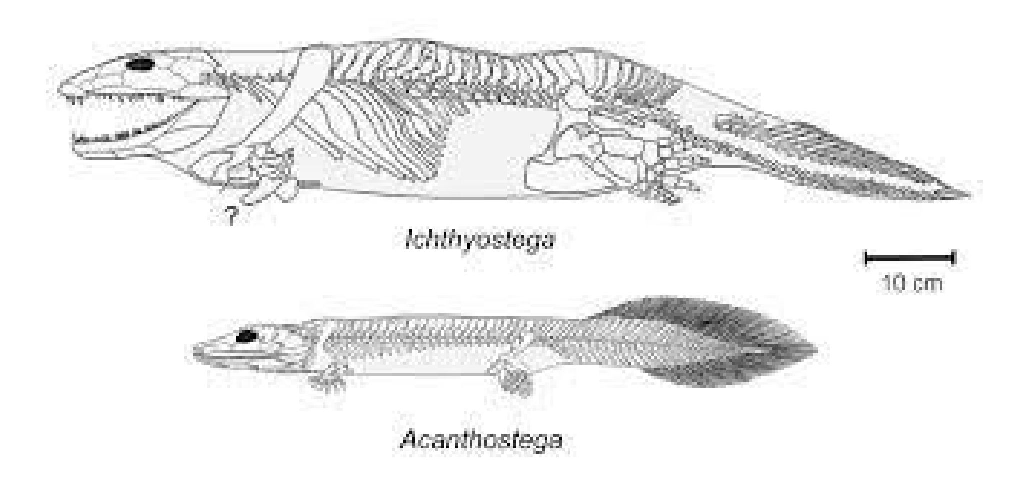


الصورة ٨- ١٦ جمجمة Acanthostega آكل الأسماك من متحف كوبنهاجن.



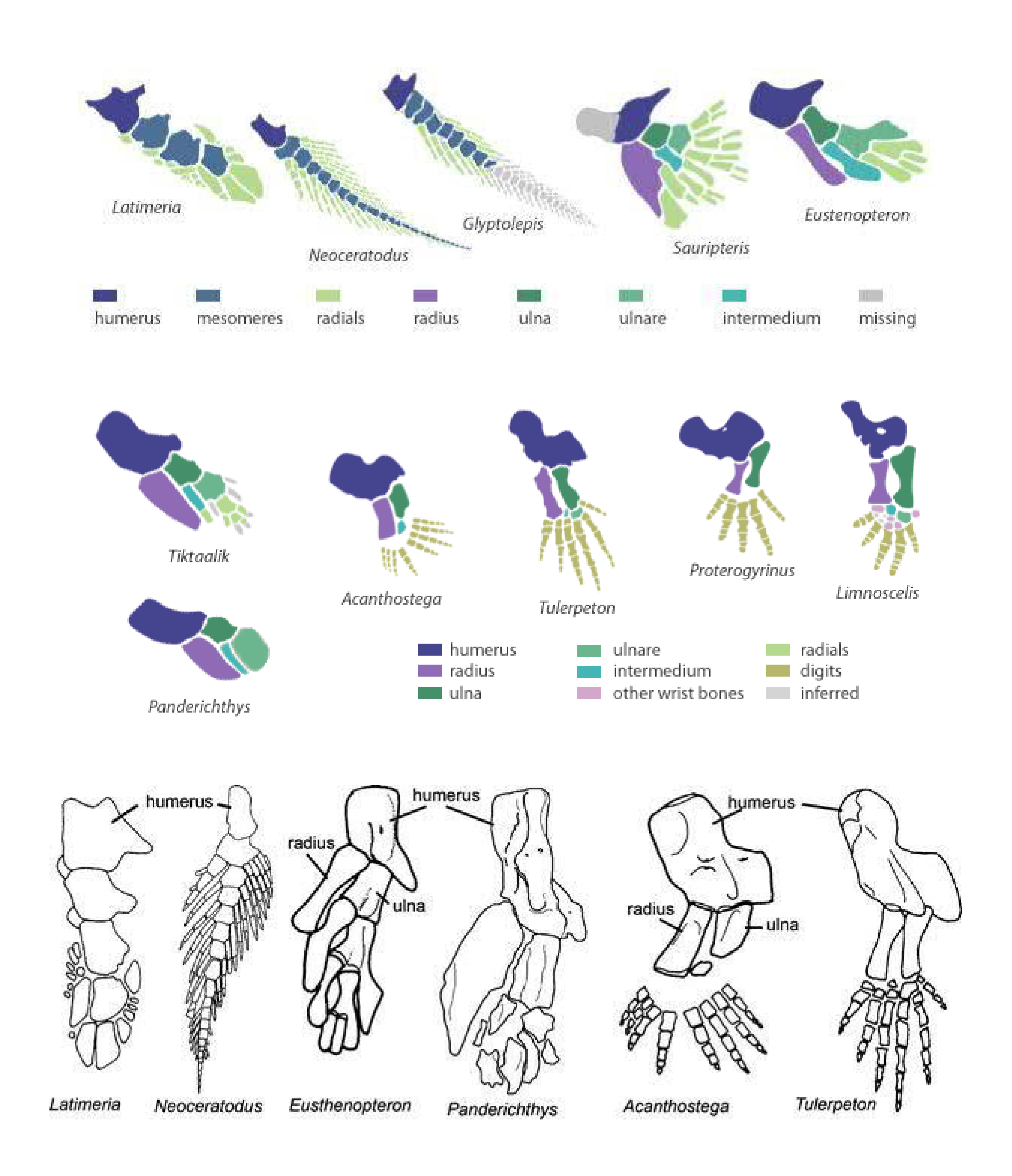


الصورة ٨- ١٧ إعادة بناء لـIchthyostega تعكس اكتشاف Coates and Jenny Clack أن الأطراف الخلفية (من خلال الأقدام الوحيدة المحفوظة) لم تكن أدوات مشي جيدة جدًا.

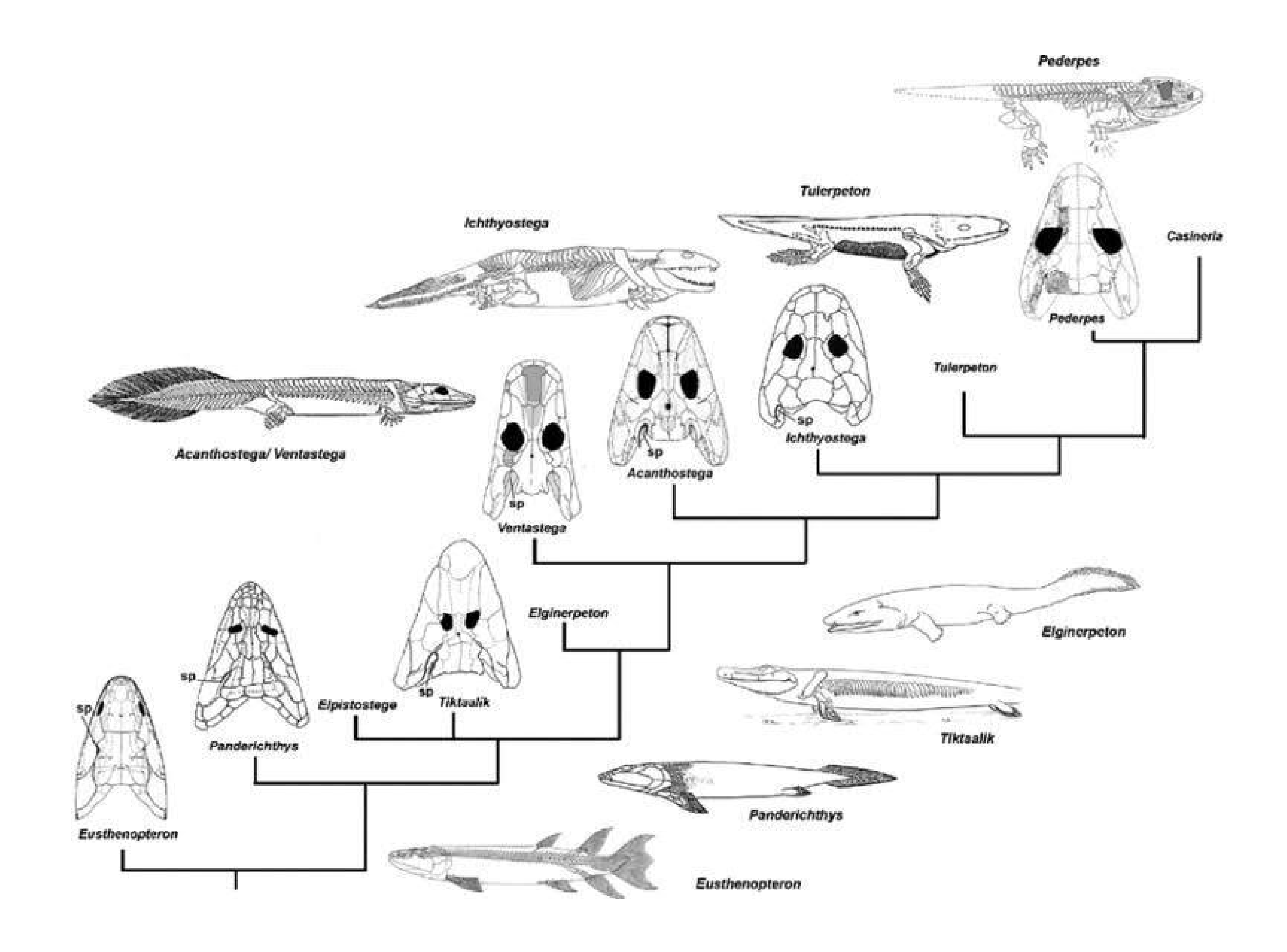


كان Ichthyostega في بلوغه على الأرجح أشبه في إيكولُجيَّته [طريقة اعتياشه ودوره البيئي] بتمساح حي معاصر. أظهرت عينات جديدة مكتشفة منه أن قدميه الخلفيتين لم تكونا متطورتين جيدًا للمشي، وحتى الآن لا يُعرَف شيء عن قدميه الأماميتين (رغم أنها كانت موضوعة على عظام قوية جدًّا). قارَنَتْ Jenny Clack قدرتَه المحتملة على الحركة على البر مع القدرة الخاصة بالفقمة الفيلية الحية المعاصرة (وإن تكن ذات حجم أصغر). تسحب الفقمات الفيلية نفسَها على الشاطئ هنا وهناك على نحو رئيسي، باستخدام قدمين أماميتين قويتين للدفع وقدميها الخلفيتين كدعامتين ومزلقتين. رغم ذلك، فإن سياحًا غافلين قد تضرروا بفعل الهجوم المباغت والسريع لذكر فقمة فيلية ضخم أغضبه الدخلاء المثرثرون في "منطقته".

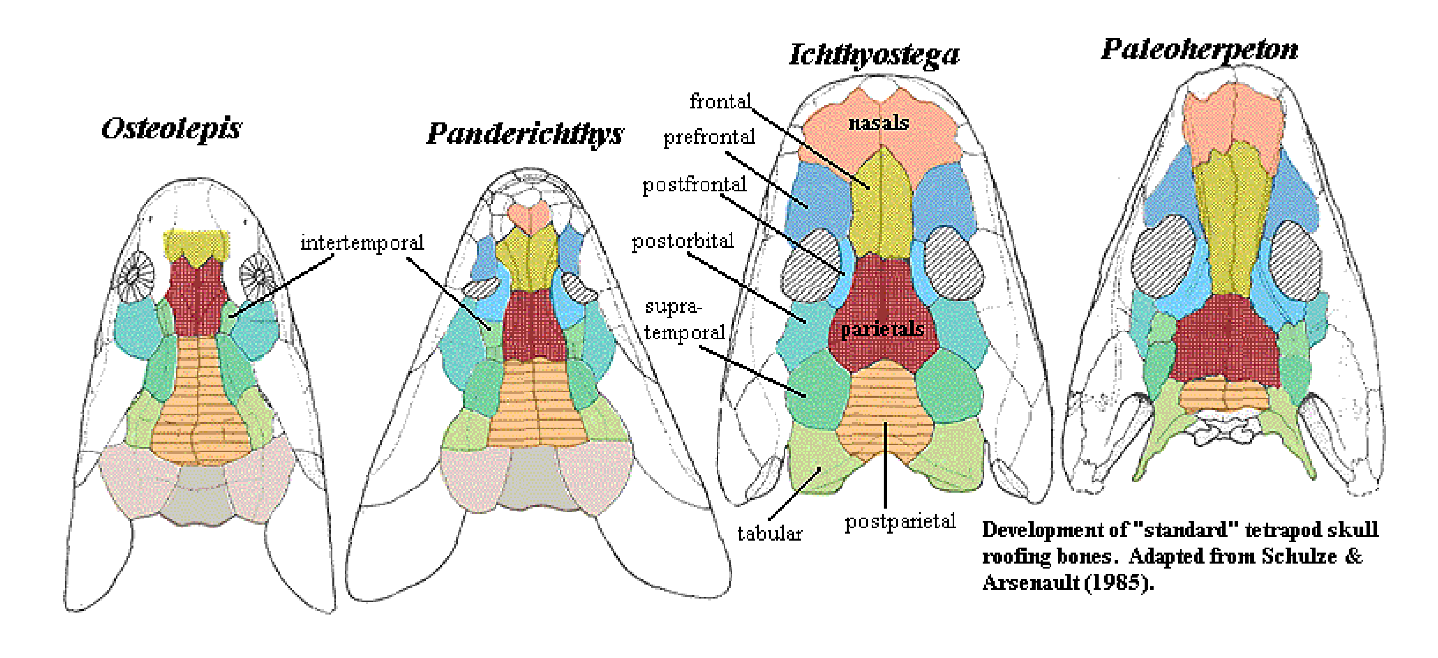
دعَم الصيدَ المائيَّ الخاصَّ بـIchthyostega تركيبٌ [أو بُنْيةٌ] فريدٌ[ة] للأذن. حيث كان بها جيب كبير مليء بالهواء في الجمجمة والذي على الأرجح ضخّم أي صوت تحت الماء يصل إليها، ثم نَقَلَ الإشاراتِ من خلال عظم ركابي إلى الأذن الداخلية. لا يوجد أي رباعي أقدام يمتلك أو امتلك أي شيء مشابه لهذا تمامًا. رغم ذلك، فكل رباعيات الأقدام المصنفة كذلك من جهة المنبت أو الغصن التطوري يمكن أن تكون قد خرجت إلى الهواء وعلى البر لأسبابٍ أخرى غير الطعام، كالأفضليات [المميزات] الهضمية والتكاثرية التي قد أشرتُ إليها، وبالتأكيد فإن المعلومات الجديدة عن Ichthyostega تتوافق مع ذلك. فباعتبار كل شيء، تترك الفقمات الفيلية الماء لأجل عروض التزواج وللقتال على السيادة وللعثور على شركاء والتكاثر.

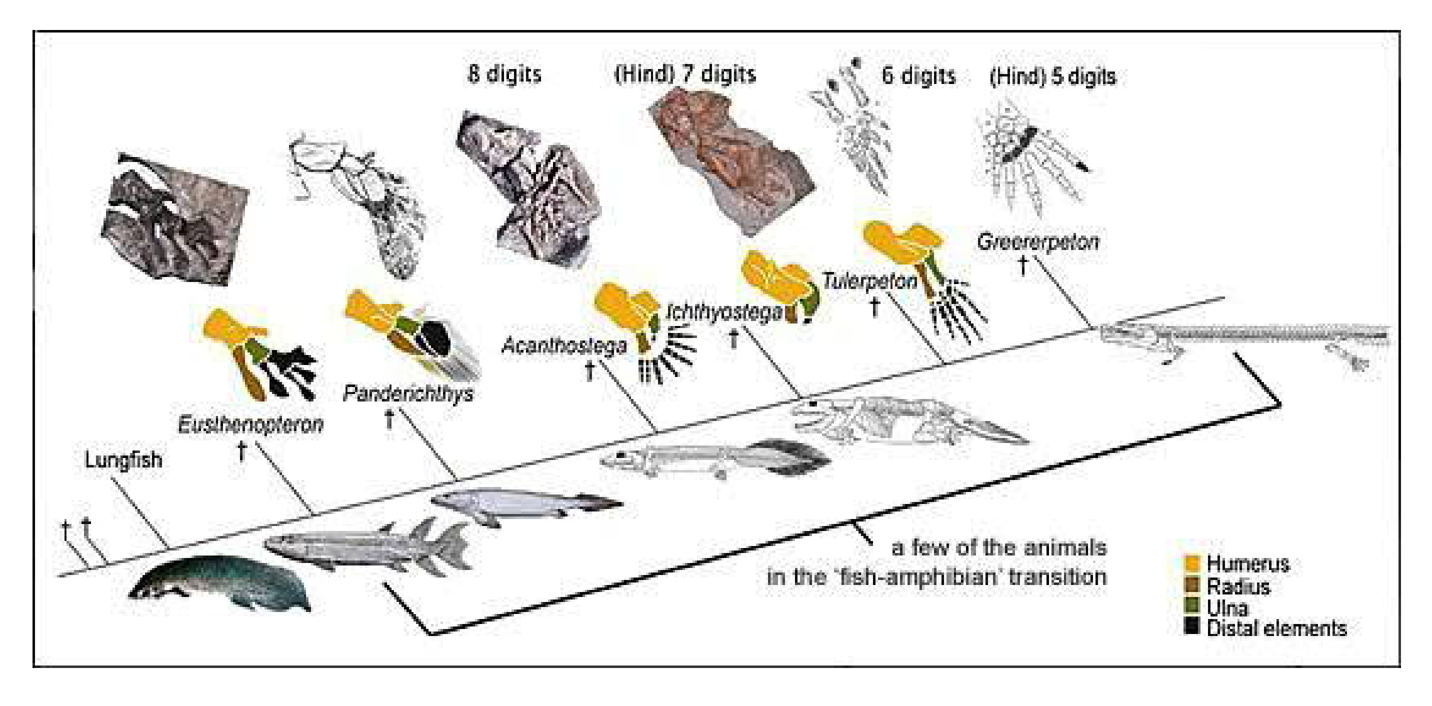


تطور الزعانف إلى أقدام من خلال عدة متحجرات



مخطط شجرة تطورية من الأسماك لحمية الزعانف إلى رباعيات الأقدام





الفصل التاسع

رباعيَّات الأقدام والسلويَّات

السلويَّات: الحيوانات التي تُكَوِّنُ السلى: الغشاء الداخلي الذي يحيط بالجنين مباشرةً

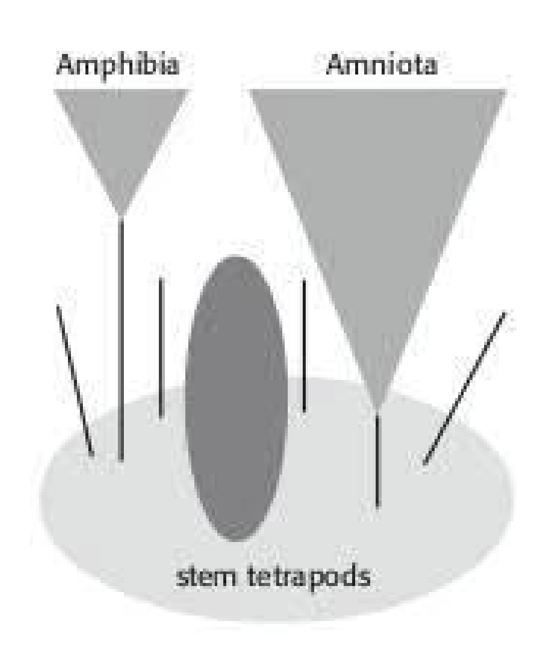
حالما تطورت أوائل رباعيات الأقدام من سلالة من الأسماك عظمية القشور osteolepiform، فقد تشعبنَ سريعًا إلى تنوع كبير من الأحجام والأشكال وطرق الاعتياش. ورغم أن هذا أقل الأجزاء معرفةً عنه من سجل متحجرات الفقاريات البرية، فإنه أيضًا أحد أكثر حقول البحث إثارة والذي لا تزال الأبحاث والتنقيبات تكشف عن متحجرات جديدة فيه. في هذا الفصل سوف أقدم تقريرًا عن المستجدَّات في القصة كما نراها الآن، وبعض المشاكل التي واجهتها وحلتها هذه الحيوانات البريّة المبكرة.

رباعيات الأقدام المبكرة

قضت أبكر رباعيات الأقدام _Acanthostega رباعي الأقدام ذو الأشواك السمكية و Ichthyostega رباعي الأقدام المسمى بسمكة السطح_ حيواتهن كبالغات في الماء، مع رحلات من آن إلى آخر (وفقًا للسيناريو الخاص بي) للتشمس وتفريخ البيض. يمكن للمرء أن يصف هذه الطريقة في الحياة بأنها برمائية، لكن هذا لا يجعل تلك الحيواناتِ برمائية بالمعنى الرسمي. لقد تركت رباعيات الأقدام المبكر متحدرات حية والتي انقسمت وتباعدت بشدة إلى برمائيات وسلويات (والتي هي الزواحف والطيور والثدييات الحية)، وقد انقرضت الكثير من مجموعات رباعيات الأقدام المبكرة، ويصعُب تصنيفها حتى في الحالات التي نمتلك فيها هياكل عظمية جيدة محفوظة. تُعَرَّف البرمائيات والسلويَّات على أساس أسلوب المجموعات الإكليلية [الناتجة عن أغصان شجرة التطور الأقدم]، لذلك فإننا سننظر إلى الخلف زمنيًّا للبحث عن أقدم سلف [معروف] لكلا المجموعتين. هذا يترك وراءه كمًّا كبيرًا من رباعيات الأقدام المبكرة التي لم تكن برمائية ولا سلوية، وتلك هي رباعيات الأقدام المصنفة كذلك على أساس نقطة التفرع التطوري (انظر الرسم البياني ٩- ١).

إيكولُجيًا، كانت رباعيات الأقدام المبكرة أول حيوانات كبيرة تستغل البيئة في وحول حافة الماء. يعكس تنوعهن التكيفاتِ المختلفة مع المواطن المختلفة وطرق الاعتياش المختلفة. بعضها كان بريًّا على نحو مهيمن رئيسي، والأخرى مائية، والأخرى برمائية على نحو حقيقي. على نحو طبيعي، فقد كانت هناك تنوعات حتى ضمن كل مجموعة.

البرمائيات الحية المعاصرة كلها صغيرة الأجساد وطرية الجلود، وهي في هذه المناحي مختلفة تمامًا عن رباعيات الأقدام المبكرة [التي كانت ضخمة وقاسية الجلد أو مدرعته]. إنها سمندلات الماء والسمندلات والضفادع والعلاجيم [ضفادع الطين]، والسيسِليات caecilians [أو البرمائيات العمياوات عديمات الأرجل] والتي هي برمائيات حفَّارة في الأرض متخذة للجحور وعديمة الأرجل. تُصنَّف البرمائيات الحية عادةً على أنها "برمائيات ملساء أو دقيقة" أو باللاتينية Lissamphibia، رغم أنه وفقًا للتعريف على أساس مفهوم المجموعة الإكليلية المتفرعة فإن هذا كقولنا برمائي. هذا الفرع التطوري مشتق ومتغير الصفات للغاية وعلى الأرجح لم يتطور حتى العصر البرمي المتأخر أو حتى الأزمنة الجوارسيَّة. إن بيولُجيَّة البرمائيات الحية المعاصرة بديعة، لكنها لا تصلح كمرشد على الإطلاق للأصل والبيولُجية العتيقة وتصنيفات رباعيات الأقدام المبكرة في العصرين الديڤوني المبكر والكربوني. على نفس النحو بالضبط، فإن السلويات الحية تطورت لمدة ٣٠٠ مليون سنة ماضية أو نحو ذلك، وهي مؤشر رديء لا يصلح على نحو مماثل لمعرفة طرق حياة أسلافهن البعيدة. وفي الإجمال والعموم، فإنه يَصْعُبُ فهم ومعرفة الأنماط التطورية ضمن رباعيات الأقدام المبكرة.



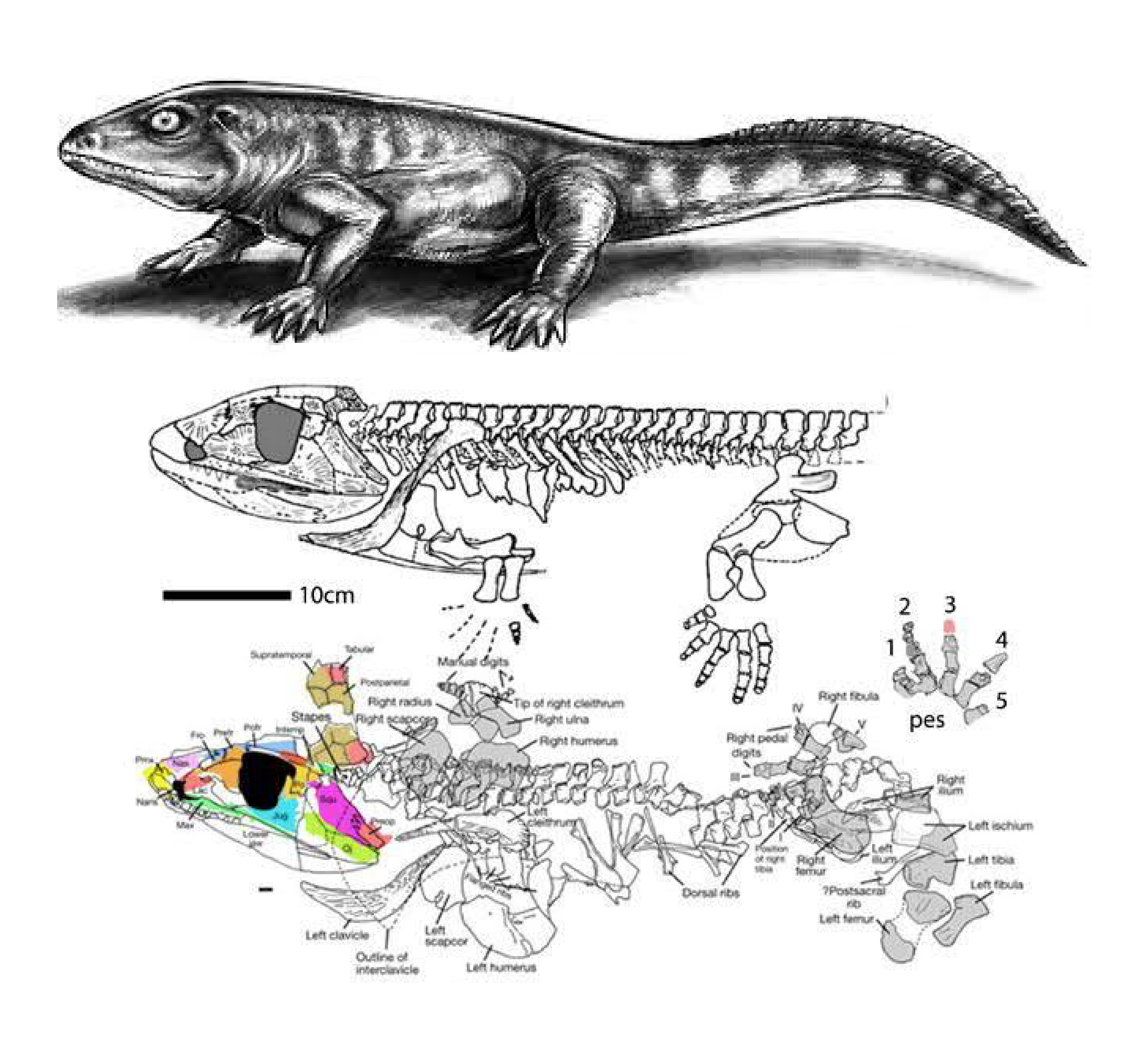
الشكل ٩- ١ رسم بياني يوضح العلاقة بين البرمائيات والسلويات "ورباعيات الأقدام المنبتية أو المصنفة هكذا على أساس نقطة التفرع التطوري Stem tetrapods". تتضمن رباعيات الأقدام منبتية التطور أشكالًا لا نملك فرضيات قوية عن علاقاتها التطورية. يمكن تحديد بعض الفروع التطورية الواضحة،

لكنها فروع لم تترك باقين على قيد الحياة كمتحدرين منها. أما الفرعان التطوريان اللذان تركا بالفعل خلفهما متحدرين _وهما البرمائيات والسلويات_ فهي فروع تطورية معرَّفة على أساس مفهوم المجموعات الإكليلية [الناتجة عن فروع شجرة التطور الأقدم]. إن لدينا صورة واضحة جدًّا عن أعضائها الأحياء، لكنْ _كما يحدث كثيرًا في علم المتحجرات والأحياء القديمة_ يَصْعُبُ تمييز أعضائها الأقدم من بين خلفية رباعيات الأقدام منبتية التطور. يبرز آخر فرع تطوري بقي على قيد الحياة [آخرهن انقراضًا] من رباعيات الأقدام منبتية التطور وهن Temnospondyls ذوات العظام المليئة بالحفر والحواف أو العظام المجعَّدة، وربما كانت سلالة من ذوات العظام المجعَّدة سلفًا للبرمائيات، لكن هذه فرضية ضعيفة جدًّا ولا تظهر في هذا الرسم كعلاقة تطورية رسمية.

كانت العديد من مجموعات رباعيات الأقدام تتطور بجوار بعضها البعض في العصر الديڤوني المتأخر، بعضها مثل Acanthostega باتجاه حياة أكثر مائية من Ichthyostega، وبعضها مثل Tulerpeton باتجاه حياة أكثر بريَّةً (راجع الفصل الثامن). تظهر أحد مخططات الأنساب التطورية المحتمَلة في الشكل ٩– ٢. لكنْ يبدو أن الصورة تتغير في كل مرة تُدْرَس فيها متحجرةٌ جديدةٌ بعنايةٍ، أو حينما تُنَظَّف متحجرةٌ قديمة. يُرَجَّح أن أفكارنا ستتغير كثيرًا في السنوات القلائل القادمات.

تشعبت رباعيات الأقدام المبكرة سريعًا إلى تفرعات أنساب تطورية كثيرة. اثنان منها كانا أسلاف البرمائيات والسلويَّات، وبالتالي لا يزالان على قيد الحياة، والفروع الأخرى كانت أكثر قربًا أو بعدًا من هذين الفرعين التطوريين. إن سجل المتحجرات متحيّز محرَّف، لأنه يفضل حفظ الحيوانات الكبيرة الأحجام على الصغيرة، ويفضل الحفظ في الماء أكثر من على اليابسة. إننا ببساطة نقوم بأفضل جهد يمكننا معه.

كان Pederpes [أو رباعي الأقدام البيتري أو البطرسي] طوله متر، قُدِّم تقرير عنه لأول مرة عام ٢٠٠٢، وهو من صخور العصر الكربوني المبكر من إسكتلندا (منذ حوالي ٣٥٠ مليون سنة). كان بأقدامه خمس أصابع فقط، بخلاف رباعيات الأقدام الأقدم. كان لا يزال يبدو وعلى الأرجح يتصرف إيكولُجيًّا كتمساح صغير، قاضيًا معظم حياته في الماء. إنه واحد من حفنة قليلة من متحجرات رباعيات الأقدام من العصر الكربوني المبكر، وهو أول رباعي أقدام [معروف حتى الآن] ذو أقدام متكيفة على نحو حقيقي للسير على اليابسة.



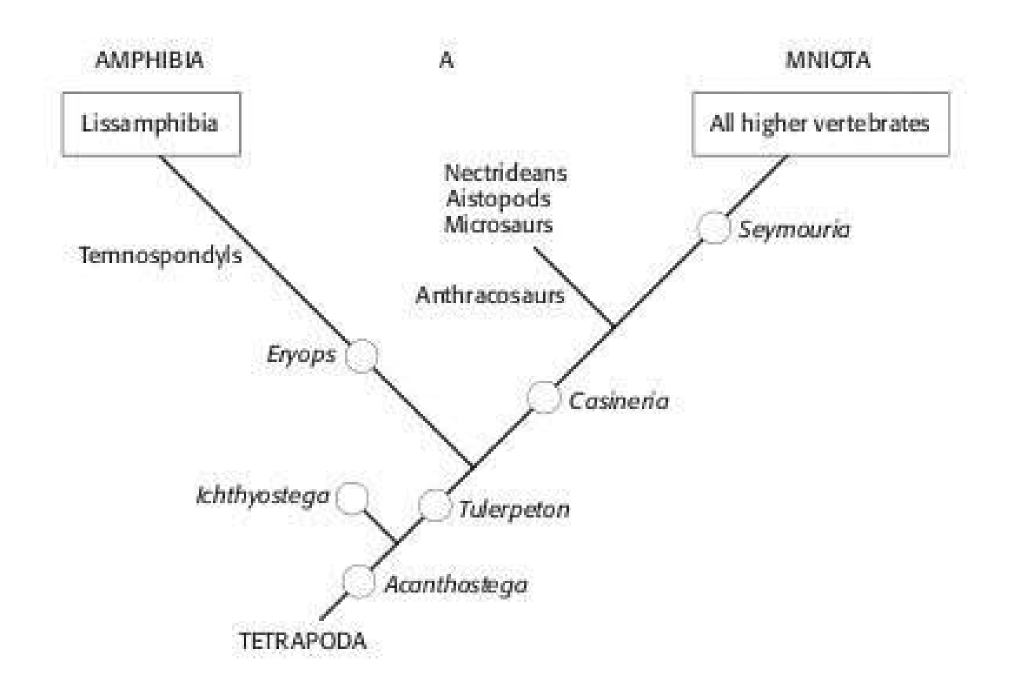


Pederpes ويعني اسمه قدم بيتر نسبة إلى بيدر مكتشفه النرويجي! جنس منقرض رباعي الأقدام من العصر الكربوني المبكر، من العصر المسيسيبي الأدنى منذ ٣٥٩– ٣٤٥ مليون عام ماضٍ، لم يعثر منه إلا على نوع Pederpes finneyae، وكان طوله مترًا، كان رأس هذا الكائن الأكثر بدائية من بين رباعيات الأقدام في العصر الكربوني كبيرًا ومثلثًا إلى حدٍّ ما، مشابهًا للخاص بالجنس الأمركي اللاحق زمنيًّا Whatcheeria الووتشري (نسبة إلى مدينة مكتشفه) القريب لجنسه، كان لقدمه سمات تميزها عن القدم المشابهة للمجداف الخاصة بالأنواع الـ Ichthyostegalia من العصر الديڤوني وتشابه الأشكال الأكثر تكيفًا للحياة على البر من العصر الكربوني. إنه أبكر رباعي أقدام يُظهِر بدايات التحرك على البر، ورغم الوجود المحتمل لإصبع سادس في طرفيه الأماميين، فقد كان خماسي الأصابع وظيفيًّا على الأقل. ويدل شكل الجمجمة وحقيقة أن أقدامه تتجه إلى الأمام بدلًا من إلى الداخل نحو الجسم إلى أنه كان متكيفًا على نحو جيد للحياة على اليابسة. وهو حاليًّا أقدم حيوان بري بالكامل معروف، رغم أن بنية أذنيه تظهر أن سمعه كان لا يزال أكثر عملًا بكثيرٍ تحت الماء مما كان على البر، وربما يكون قد قضى الكثير من وقته في الماء واستطاع الصيد به. ويُعتبَر حلقة وسطى بين الأنواع المسماة Ichthyostegalian الشبيهة والقريبة لنوع سمكة السطح أو سمكة البر ورباعيات الأقدام معقدة الأسنان labyrinthodont.

اكتُشِفَت مجموعة جيدة حقًّاً من صخور تؤرخ بحوالي ٣٣٥ مليون سنة ماضية من East Kirkton في إسكتلندا، حيث كانت هناك بيئة دلتاوية معقدة في ذلك الزمن، تتضمن بركًا ضحلة تغذيها ينابيعُ حارَّةٌ. لم يُعثَر على أية أسماك في نفس المستويات التي وُجِدَت فيها رباعيات الأقدام، على الأرجح لأن البرك كانت ساخنة للغاية في ذلك الزمن بالنسبة للأسماك. كانت تلك الرباعيات الأقدام على الأرجح أعضاءً لمستعمرة حيوية مبكرة من الحيوانات التي عاشت في الأنهار والمستنقعات وقرب البرك، وسارت بجوارها وأحيانًا سقطت فيها أو غُمِرَتْ فيها. تتضمن حيوانات هذه المستعمرة عقاربَ وألفياتِ أرجلٍ وأقدم حصَّاد معروف [Harvestmen أو تُعرَف بـ Daddy Longlegs أو الحصادات نوع من العنكبوتيات طويل القوائم رفيعها له جسد دائري غير وثيق القرابة بالعناكب رغم تشابه شكل أنواعه معها، منه أنواع قارتة أي آكلة للأطعمة الحيوانية والنباتية تأكل الفرائس من الحشرات وتأكل النباتات، وأنواع أخرى متقممة على الجثث والحشرات الميتة وبراز الطيور والمخلفات النباتية، وتكمن الأنواع المفترسة منه لفرائسها وبعضها لا تكمن بل نشيطة الحركة في الصيد] و_بالتأكيد_ العديد من مجموعات رباعيات الأقدام. تضمن هؤلاء مجموعتين من رباعيات الأقدام كبيرة الحجم، وهما anthracosaurs رباعيات أقدام ذوات صفات زاحفية و temnospondyls ذوات العظام المجعدة، أما أنواع رباعيات الأقدام الأخرى فكانت أصغر في أحجام أجسادها ومتنوعة في إيكولُجيَّاتها [طرق اعتياشها].

يبدو أن temnospondyls [رباعيات الأقدام مجعدة العظام] نتج عنها (في آخر الأمر) البرمائيات الحية المعاصرةِ وأن anthracosaurs [من رباعيات الأقدام ذوات الأشكال والصفات شبه الزاحفية المبكرة] نتج عنها (في آخر الأمر) السلويَّات الحية المعاصرة (الشكل البياني ٩– ١)، لذلك فقد نالتا معظمَ الاهتمام. رغم ذلك، فإن شخصًا مجترئًا فقط هو من سيصفهما ببرمائيات من حيث التفرع التطوري أو سلويَّات من حيث التفرع التطوري.

ولإظهار مدى صعوبة دراسة متحجرات East Kirkton الإسكتلندية، فلنتأمل في المتحجرة الجديدة Eucritta melanolimnetes وتعني باللاتينية "المخلوق الذي من الهور الأسود" والذي كان لديه جمجمة مشابهة للغاية للخاصة بـ anthracosaur وجسد مشابه للغاية للخاص بـ temnospondyl. لقد بدا كسمندل، لكنه لم يكن سمندلًا بالتأكيد. إنه يضيف تعقيدًا ومشكلة إلى اللغز، بدلًا من تبسيطه.



الشكل ٩– ٢ إحدى الأشجار التطورية المحتملة لأصل رباعيات الأقدام الحية المعاصرة، وعلاقاتها مع رباعيات الأقدام المبكرة. هناك نظريات منافسة عديدة عن أصولها، وليس أي منها قويًّا. هذه شجرة تطورية وليست مخطط نسب تطوري، لذلك فقد وضعت بعض أنواع رباعيات الأقدام المذكورة في نص الكتاب في الشجرة التطورية.

Eryops ويعني اسمه بالجريكية ذو الوجه المتجه إلى أسفل، أو ممدود الوجه، لأن معظم جمجمته كانت أمام عينيه، وسيأتي الكلام عليه قريبًا.

Temnospondyls ذوات العظام المليئة بالحفر والحواف أو العظام المجعَّدة، ربما اتصفت بذلك لدعم الأوعية الدموية بنقل ثاني أكسيد الكربون لمنع تراكم الحمض الكربوني في الدم، فربما وجدت هذه الرباعيات الأقدام المبكرة النصف مائية الحياة صعوبة في طرد ثاني أكسيد الكربون بينما هي على البر، فكانت العظام المسامية حلًّا مبكرًا للمشكلة، وكانت معظمهما أضخم بكثير من البرمائيات المعاصرة، وتشابه ظاهريًّا التماسيح. وكانت أخرى منها أصغر وتشابه السمندل. امتلك معظمها رؤوسًا عريضة مسطحة اتخذت شكلًا مثلَّمًا أو مستطالًا، ومنظور جماجمها من الأعلى كان مستديرًا أو مثلثيًّا. امتلك الكثير من أنواعها أخاديد شبه قنوية في جماجمها تُدْعَى بالثُّلَم أو الأخاديد الاستشعارية، والتي أحاطت بفتحتي الأنف ومحجري الأنف كجزء من النظام الجانبي [الخط الجانبي الاستشعاري الذي يوجد في كثير من الفقاريات المائية] الذي استعمِلَ في رصد الذبذبات في الماء. كحيوانات نصف مائية، امتلكت معظمها أطرافًا صغيرة ذات أربع أصابع في كل قدم أمامية وخمسة في كل قدم خلفية. أما البريّة منها فامتلكت أطرافًا أكبر وأسمك وبعضها امتلك حتى مخالب. وكان الكثير من مجعدات العظام مغطى بقشور صغيرة متلاصقة وبصفائح كبيرة على الجانب البطني متداخلة مع بضها على نحو يسمح بمرونة الحركة، على النقيض من البرمائيات المعاصرة الغير مغطاة بقشور، فقدت كما يبدو من المتحجرات بعض الأنواع المتأخرة منها القشور مثل trematosaurs and capitosaurs ربما لتسهيل الحركة أو للسماح بالتنفس عبر الجلد.

Lissamphibia البرمائيات صغيرة الحجم الملساء حديثة الصفات ومنها المعاصرة

Labyrinthodont رباعيات الأقدام ذوات الأسنان المعقدة القوية المطوية المكونة من عاج ومينا، كانت معظمها مائية في حياتها حيث كانت حركة كاحل القدم محدودة وافتقدت الأطراف وجود مخالب، عدا الأجناس المتأخرة منها microsaurs and seymouriamorphs فقد بدت كفؤة للحركة على اليابسة وكانت متوسطة إلى صغيرة الأحجام.

Casineria أو التشيزي [الضئيل] رباعي أقدام منقرض عاش منذ ٣٤٠ مليون سنة في العصر المسيسيبي، صغير طوله يقدر بـ ١٥ سم، يجمع بين صفات البرمائيات والزواحف، عثر عليه في خليج Cheese Bay، قرب Edinburgh بإسكتلندا بمنطقة كانت في عصره جافة للغاية. ويعتبر قريبًا للغاية من أصل السلويات (ومنها وأولها الزواحف)، كان آكلًا للحشرات، وامتلك خمس أصابع في كل يد فكانت أقدم أرجل ذات مخالب، وحيث أن المخالب هي صفة ارتبطت في الأصل على نحو وثيق بتكوين الحراشف الكيراتينية في الزواحف، فقد كان على الأرجح جدًّا مغطى بالحراشف، ذا جلد زاحفي، وشابه سلحية صغيرة، ولكونه على الأرجح ضمن أبكر السلويات بالمعنى البيولُجي، فيرجح أنه قد وضع بيضًا سلويًّا لا يعتمد على وضعه في الماء ليحيا، ولعله خبأه في نباتات رطبة أو بالحفر لوضعه في جذور الأشجار، هذا استُدِلَّ عيه من حقيقة أنه عُثِرَ عليه في صخور تدل على بيئة جافة للغاية. في العصر الكربوني المبكر قبل ظهور Casineria، كانت الفقاريات مائية على نحو رئيسي، تقضي فقط جزءًا من حيواتها على البر، أما Casineria وأقاربه فكانوا أول فقاريات تعيش وتتكاثر على البر.





Casineria التشيزي الضئيل

Anthracosaurs رباعيات أقدام منبتية [من حيث نقطة النفر التطوري] ذوات صفات زاحفية ويعني الاسم باللاتينية السحالي التي عُثِر عليها في طبقة الفحم من العصر الكربوني في طبقته الأعلى، ويوصَف به نسل فرع رباعيات الأقدام ذات الأسنان المعقدة التي يعتقد أنها تطورت إلى الزواحف.

Diadectidae أو Diadectes ذوات الأرجل القوية الطويلة الشبيهة بالخاصة بالزواحف النباتية المبكرة، وهي فرع من المجموعة التصنيفية Anthracosaurs.

Seymouria [السيمورية نسبة إلى مدينة Seymour في تكساس حيث اكتُشِفت متحجرته] من رباعيات الأقدام من جهة تصنيف التفرع التطوري، كان أقرب إلى السلويات مما هو إلى البرمائيات الصغيرة الحجم، وقد عُثِر في بعض متحجراتها على ثلمات أو أخاديد من جهاز خط الاستشعار الجانبي وفي يرقاتها لى خياشيم مما يجعلها "برمائيات" منبتية أي من جهة فرع التطور. ورغم كونها شبه زاحفية في بعض الصفات فهي أقارب بعيدون تطوريًّا للسلويّات، وقد انقرضت كل أنواع فصيلة Seymouriamorpha (وهي ثلاثة أنواع: Kotlassiidae, Discosauriscidae, and Seymouriidae) بنهاية العصر البرمي، وقد تنوعت أحجام أنواعها من حجم السحلية ٣٠ سم إلى حجم التمساح ١٥٠ سم.

Aistopods رباعيات الأقدام ذوات الأرجل الغير ظاهرة الشبه منعدمة ثعبانية الشكل.

Diplocaulus ذو الرأس ذات شكل القوسين من فصيلة nectrideans أو طويلات الذيول.

Proterogyrinus رباعيات أقدام ذوات صفات زاحفية تعتبر أقدم الأشكال الشبه زاحفية.

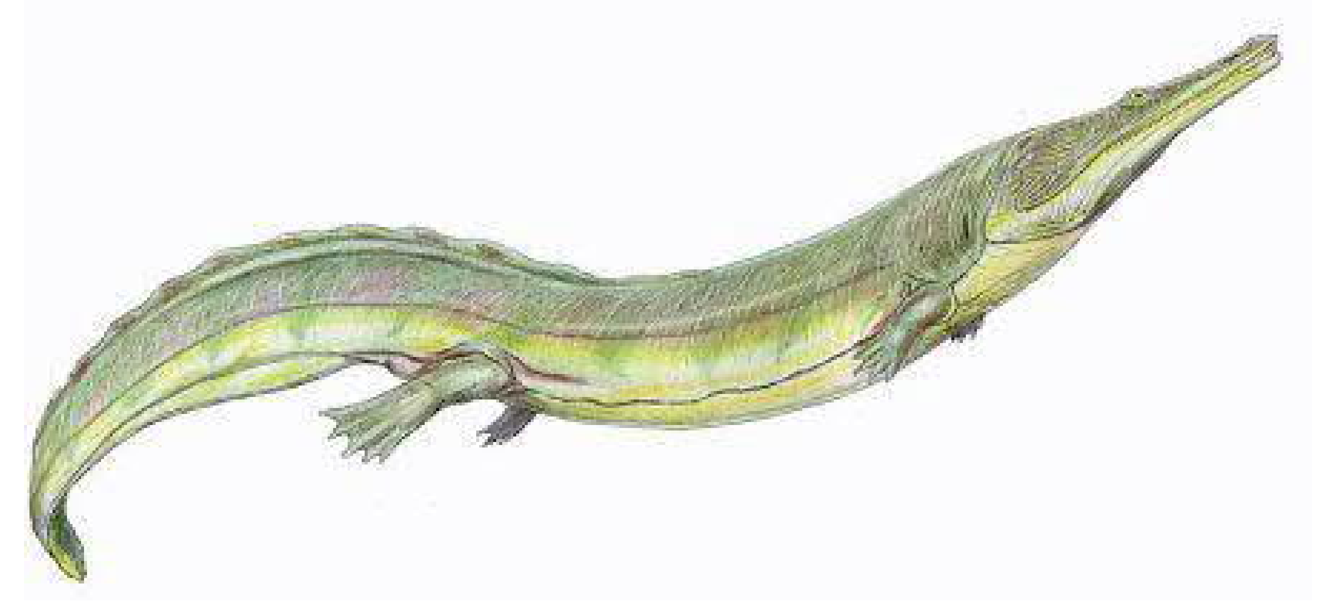
هل كانت Temnospondyls مجعدات العظام أسلاف البرمائيات؟

كانت مجعدات العظام temnospondyls أكبر مجموعات رباعيات الأقدام في العصر الكربوني وأكثرها تنوعًا، فقد وُصِفت أربعون فصيلة و١٦٠ جنسًا بالإجمال. وهناك ما يزيد على الثلاثين هيكلًا عظميًّا لمجعدات العظام temnospondyls في مجموعات East Kirkton.

كانت مجعدات العظام كبيرة الأحجام، وذوات اسنان مشابهة للخاصة بالأسماك عظمية القشور osteolepiforms وIchthyostega. أكثر متحجرات مجعدات العظام شيوعًا في East Kirkton هي متحجرات Balanerpeton، وكان طوله حالي ٥٠ سم (٢٠ بوصة). وامتلك عظامًا ثقيلة، وتبدو أقدامه المحفوظة على نحو رائع قوية ومتكيفة جيدًا للمشي [كان له فتحتا أنف (منخران) خارجيان كبيران وثقوب في مؤخر الحنك وأذن ذات غشاء طبلي وعظام ركابية شبيهة بالعصا ولم يمتلك نظاماً خيشوميًّا متعظمًا ولا أخاديد خط استشعار جانبي، ويعتقد أن أسلوبه في تنفس الهواء كان بابتلاعه عن طريق الفم وليس بتوسعة حجم الصدر]. كان لمجعدات العظام على الأرجح بيولُجية وإيكولُجية شبيهة بالخاصة بالتماسيح، وقد كانت كبالغاتٍ آكلات للأسماك (انظر Eryops أو ممدود الوجه، الصورة ٩– ٣). وكان الفك متطورًا للغلق بعنف على الفريسة، وكانت الجمجمة قوية جدًّا.



Balanerpeton



Trematosaurus





مجعدات العظام temnospondyls

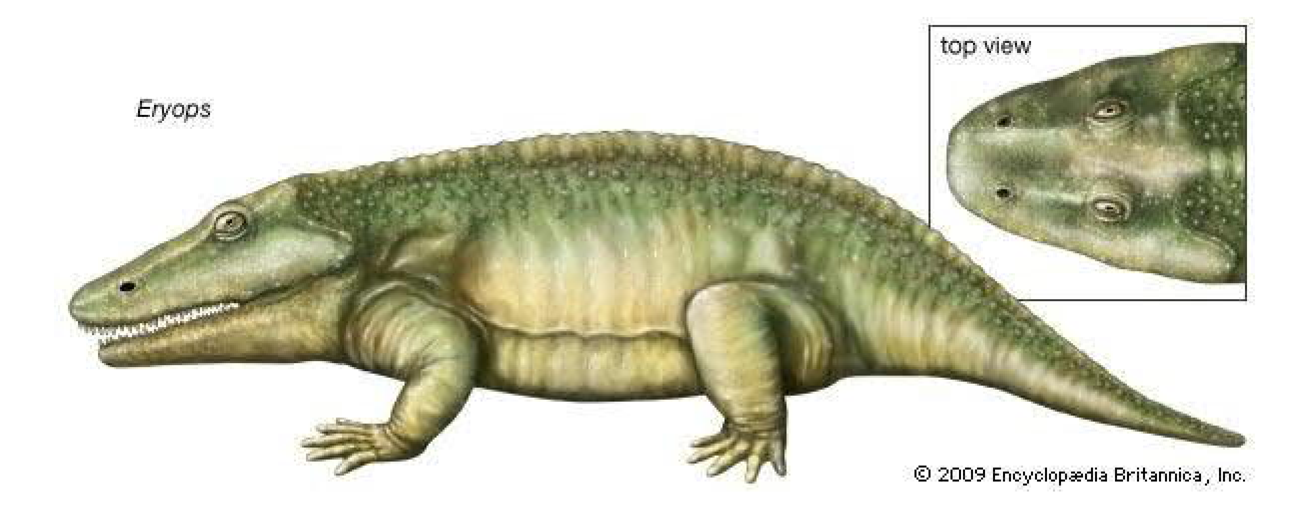
امتلكت مجعدات العظام الأكثر تكيفًا للحياة على البر هياكلَ عظمية ثقيلة مصمتة قوية لدعم أجسادهن على البر، حتى في الأنواع التي كانت صغيرة الأحجام حقًا (الصورة ٩- ٤). كانت بعض مجعدات العظام تصير أكثر بريّة عند بلوغها. كمثال فإن صغار النوع Trematop or Trematopsidae امتلكت فكًّا متطورًا بتركيبٍ لأكل مواد الغذاء الصغيرة الطرية، لكن البالغات منه امتلكت فكًّا لاحميًّا للافتراس وهيكلًا عظميًّا ذا بنية خفيفة يجعلها قادرة على التحرك السريع. كبالغات فقد كانت على الأرجح مفترِسات ماشية على البر.

وكجزء من تكيفاتها للعيش على البر في الهاء، فقد كان لمجعدات العظام بنية أذن توحي بأنها استطاعت سماع الأصوات التي كان يحملها الهواء. إن العظم الرِكابي قوي ويبدو أنه كان يوصل الصوت إلى غشاء مضخم للصوت وُجِدَ في ثلمة [أو أخدود] خاصة في الجمجمة. لم تطور رباعيات الأقدام المبكرة الأخرى _بما فيها السلويَّات المبكرة_ مثل ذلك الجهاز المتطور.

ظلت مجعدات العظام على قيد الحياة حتى العصر الطباشيري في مناطق معزولة من قارة جُنْدُوانا. وقد كانت أشكال الصر الترياسي منها حيوانات ضخمة بحريَّة، وقد انتشرت جنوبًا حتى القارة القطبية الشمالية (مثلما تستطيع البرمائيات الحية الحياة في الماء البارد طالما أنها تفرّخ بيضَها في الخريف أو الصيف). لقد كان نوعًا مجعد العظام من دهر الحياة القديمة المتأخر سلفًا على الأرجح للبرمائيات الحية المعاصرة، رغم أننا نفتقد سجلَ متحجراتٍ تفصيليًّا لهذه النقلة التطورية. ولو أُثْبِتَتْ الصلة في آخر الأمر في المستقبل، فإننا إذن سوف نصف مجعدات العظام بأنها "برمائيات على أساس التفرع التطوري"، وسيكون فرعها التطوري لم ينقرض، إذا استمر من خلال متحدراته.

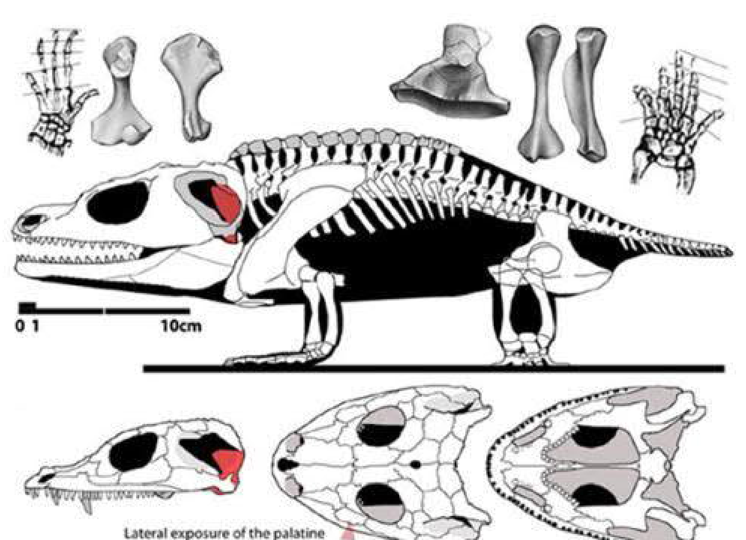




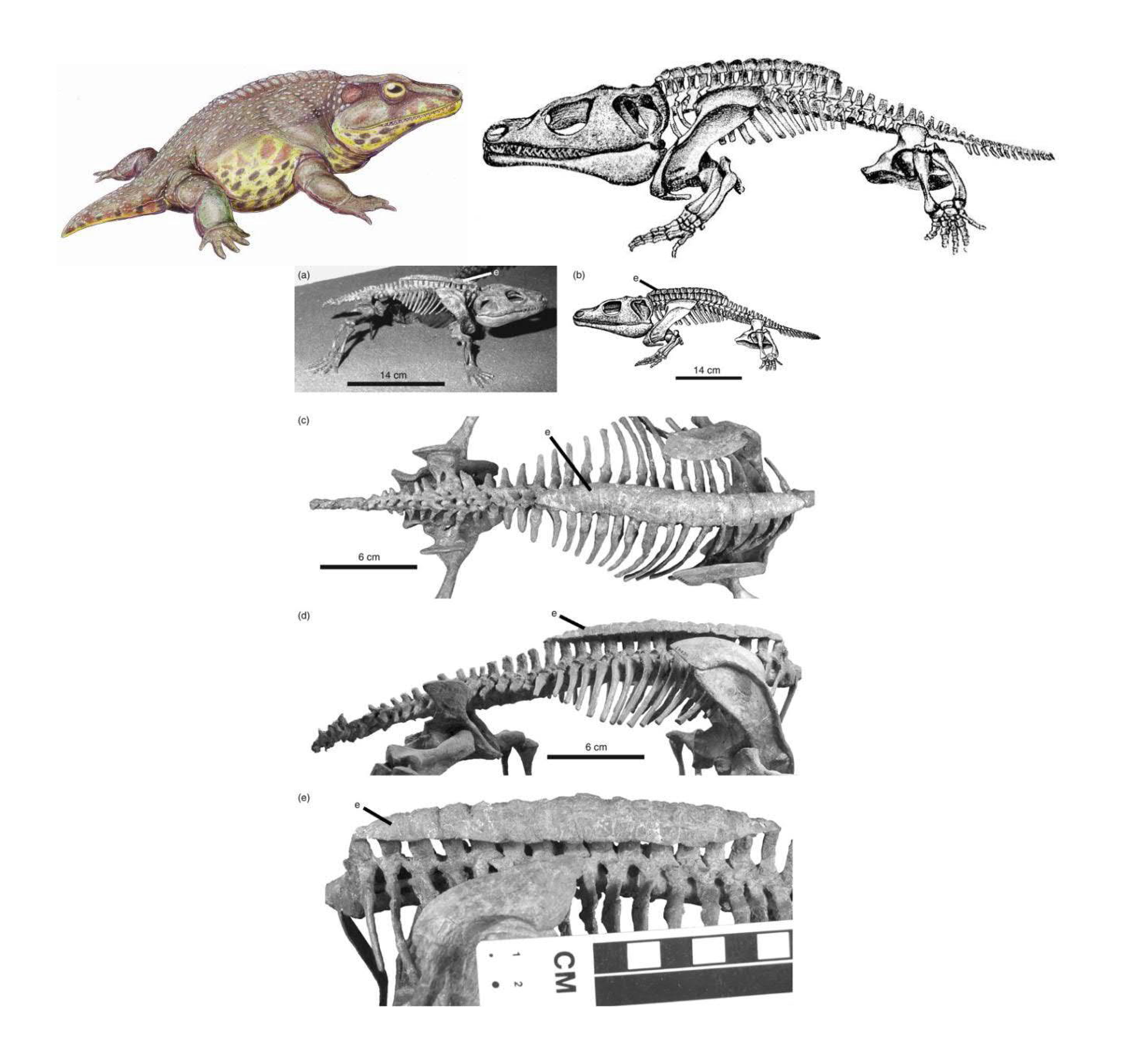




الصورة ٩- ٣ كانت بعض مجعدات العظام temnospondyls قادرة على الحركة على البر حتى لو كانت قد قضت معظم حيواتها في الماء. وهذا الحيوان ذو الهيكل العظمي الثقيل البنية المصمت المسمًّى بـ Eryops أو بالعربية ممدود الوجه أو مستطال الوجه كان أشبه بتمساح في حجمه وربما في إيكولُجيَّته [طرق اعتياشه]. كانت أطرافه متباعدة مفرشحة، وكان الرأس ضخمًا، ولا بد أن البالغ كان أخرق جدًّا في المشي على البر. [Eryops يعني اسمه بالجريكية ذو الوجه المتجه إلى أسفل، أو ممدود الوجه، لأن معظم جمجمته كانت أمام عينيه. هو جنس منقرض من رباعيات الأقدام ذوات العظام المجعدة temnospondyls، ولا يُعْرَف منه سوى نوع ممدود الوجه كبير الرأس Eryops megacephalus، وقد وُجِدَت متحجراته على نحو رئيسي في صخور العصر البرمي المبكر في مقاطعة Archer County في تكساس Texas بأمِرِكا، لكنها وُجِدَت أيضًا في صخور العصر الكربوني المتأخر في نيو مكسيكو. وصل ممدود الوجه لطول بمتوسط يفوق بقليل 1, 5 إلى مترين وربما نما حتى طول ٣ أمتار، مما يجعله ضمن أكبر الحيوانات البرية في عصره. كانت جمجمته كبيرة نسبيًّا مقارنةً مع الجسم، وكانت عريضة ومسطحة وتصل إلى طول ٦٠ سنتيمترًا. وكان له فم ضخم ذو أسنان مقوسة كثيرة. وكان بأسنانه مينا ذات نمط مطوي، كانت أسنانه قوية على نحو استثنائي ومقاومة للضغوط. كان الحنك أي سقف الحلق يحتوي على ثلاثة أزواج من الأنياب المنحنية إلى الخلف، وكانت مغطاة ببروزات أو نتاوئ متجهة لى الخلف والتي استُعمِلت للإمساك بالفرائس الزلقة المراوِغة. هذا مع وجود فتحة الفم الواسعة يقترح طريقة أكل خاملة، يبتلع فيها الحيوان فريسته ويندفع إلى الأمام، مجبرًا الفريسة على الدخول أكثر في فمه. وكان الهيكل العظيم لممدود الوجه أكثر قوة ومتانة بكثير من رباعيات الأقدام جعداء العظام ذات القرابة. كانت الأطراف كبيرة وقوية على وجه الخصوص. كان الحزام الصدري متطورًا بدرجة كبيرة، وذا حجم أكبر لأجل أربطة زائدة للعضلات. والأكثر جدارةً بالملاحظة أن الحزام الكتفي كان غير متصل بالجمجمة، مما أدى إلى تحسن في القدرة على الحركة على البر. وقد احتفظ بالعظمة الجمجمية الغشائية الممتدة حتى عظام الكتف cleithrum، وكذلك الترقوتين، وكانت الثلمة بين الترقوتين متطورة على نحو جيد ومتموضعة أسفل الصدر. كان بالجزء الأعلى من الحزام الصدري لوح كتفي مسطح، وكانت فجوة الحُقِّ [أعلى الفخذ] واقعة بالأسفل كسطح مفصلة لعظمة العضد، وعند البطن كانت هناك صفيحة عظم غداقي كبيرة [العظم الغداقي: نامية عظمية تمفصل العظم الكتفي بعظم الصدر عند معظم الفقاريات، وهو نامية عظمية تبرز من العظم الكتفي نحو الصدر في الثدييات] ترتد باتجاه الخصر. وكان الحزام الحوضي أيضًا أكبر بكثير من الصفيحة البسيطة الموجودة في الأسماك، وهو ما يتلاءم مع عضلات أكثر. وقد امتدت باتجاه الخلف أكثر وكانت متصلة بالعمود الفقري بضلع أو أضلاع عُجْزِيَّة متخصصة. كانت الرجلان الخلفيتان متخصصتين إلى حد ما بحيث لم تكن تدعم وزن الجسم فحسب، بل وكانت أيضًا تقوم بالدفع. كان الامتداد الخلفي للحوض هو الحرقفة، بينما تكونت الصفيحة البطنية العريضة من عظم العانة في المقدمة [الجزء الأمامي من عظم المفصل الذي يشكل تجويف الحوض] وعظم الورك في الخلف. تلاقت العظام الثلاثة عند ملتقى مفرد في مركز المثلث الحوضي، والذي يُعرف بالحُقِّ، موفرًا سطحًا لمفصلة عظم الفخذ. وكشفت مومياء موصوفة عام ١٩٤١ لممدود الوجه أن جلده في حياته كان مغطى بنتاوئ بيضاوية. يعتبَر ممدود الوجه من أكثر اللواحم [المفترسات] رعبًا في العصر البرمي المبكر وقد كان نصف مائي أو مائي في معظم حياته، كما يكشف التشريح المجهري لمتحجرات عظامه الطويلة. فقد عاش في الأراضي المنخفضة في وحول البرك والجداول والأنهار، ويوحي ترتيب وشكل الأسنان أنه كان يفترس على الأرجح الأسماك ورباعيات الأقدام المائية. وكان جذعه صلبًا نسبيًّا وذيله سمينًا، مما جعله سابحًا رديئًا، وبينما يرجح أنه تغذى على الأسماك، فقد عاش ممدود الوجه البالغ معظم حياته على البر. وكمعظم جعداوات العظام البدائية الضخمة الأخرى، كان ممدود الوجه ينمو ببطء وتدريجيًّا من يرقة مائية، لكنه لم يكن يمر بتحول درامي [كبير ومفاجئ] كالخاص بالكثير من البرمائيات المعاصرة، وعاشت ممدودات الوجه في طفولتها على الأرجح في البرك التي ربما وفرت مأوى أفضل من المفترِسات].







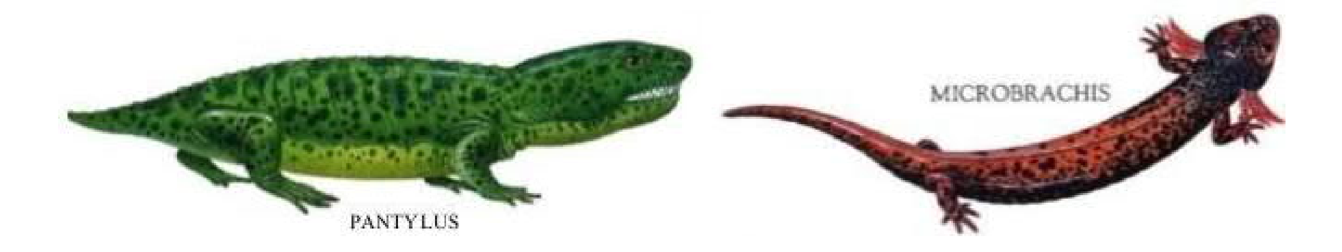
الصورة ٩– ٤ متحجرة وإعادة بناء ووصف تشريحي لحيوان Cacops جعد العظام temnospondyl، وقد كان صغير الحجم، ذا طول ٤٠ سم فقط (١٦ بوصة)، لكنْ ذا بنية عظمية مصمتة ثقيلة. ترافقت قوة الطرفين الأماميين والحزام الكتفي مع جمجمته الثقيلة.

مجموعات صغيرة من رباعيات الأقدام المبكرة لكنها مثيرة للاهتمام

لا نعرف بعد كيف نصنف بعض رباعيات الأقدام المبكرة صغيرة الأحجام المائية على نحو رئيسي. ربما كانت أوثق علاقة بالسلويَّات مما هي إلى البرمائيات، كما يظهر في الشجرة التطورية المحتمَلة في الشكل ٩– ٢، لكن هذه فرضية ضعيفة.

Microsaurs أو رباعيات الأقدام الصغيرة العتيقة

كانت الـMicrosaurs صغيرة الأحجام، وذوات هياكل عظمية ضعيفة التكلُّس. إن بقاياها المتحجرة تكون عادةً متشظِّيةً، وتتضمن الكثير من الأشكال ذات السمات الطفولية [تتسم بالطفالة أيْ الاحتفاظ بسمات أطفال رباعيات الأقدام العتيقة].



كانت منها الـAistopods [أو ذوات الأرجل الغير ظاهرة الشبه منعدمة] رباعيات الأقدام نحيلة صغيرة الأحجام فقدت كل أثر لأطرافها تقريبًا. لقد عاشت على الأرجح على نحو شبيه جدًّا بثعابين الماء الصغيرة (الصورة ٩– ٥). إنها لم تُحْفَظْ جيدًا كمتحجراتٍ وهي نادرة تمامًا، لذلك فهي لم تُدْرَس على نحو كافٍ ملائم.



الصورة ٩– ٥ متحجرة وإعادة بناء لبعض ذوات الأرجل الغير ظاهرة، طول العينة الكاملة حوالي ٧٥ سم (٣٠ بوصة).

Nectrideans [طويلات الذيول]

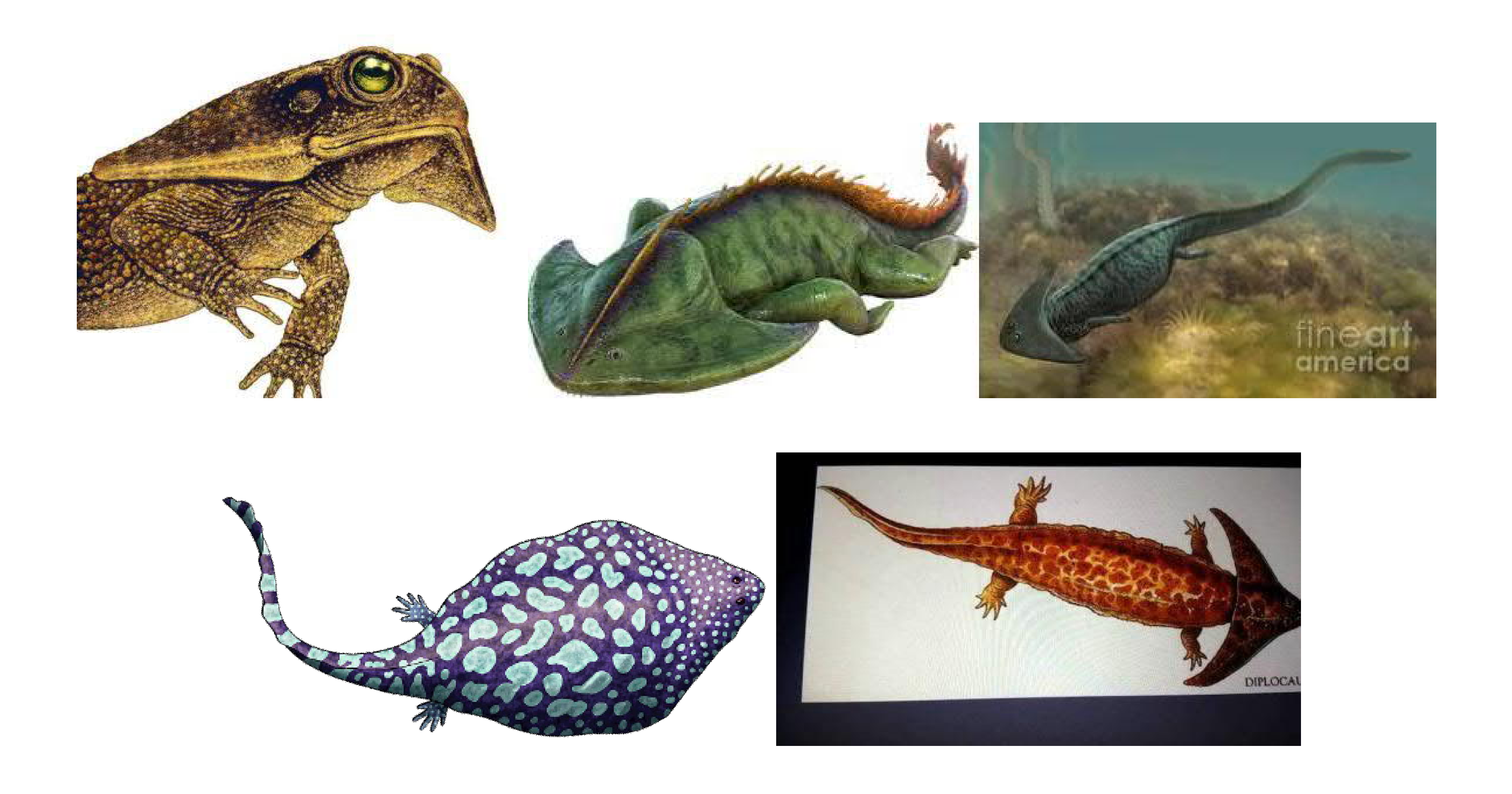
Nectrideans محفوظة المتحجرات على نحو أفضل وفهمنا ومعرفتنا لها أفضل. كان لها جسد قصير وذيل طويل مسطح الجانبين يشكل ثلثي الطول الكلي لها وكان يُستعمَل على الأرجح للسباحة. كان العمود الفقري متصلًا بطريقة تسمح بتلوي مرن للغاية، وقد كانت على الأرجح تسبح مثل سمك الإنقليس. وكان لها طرفان أماميان متطوران جيدًا للسباحة بكل منهما خمسة أصابع، أما الطرفان الخلفيان فكان مختزلان إلى حدٍّ ما وكان بهما أربعة اصبع مثل البرمائيات المعاصرة رغم أنها ليست سلفًا لها.

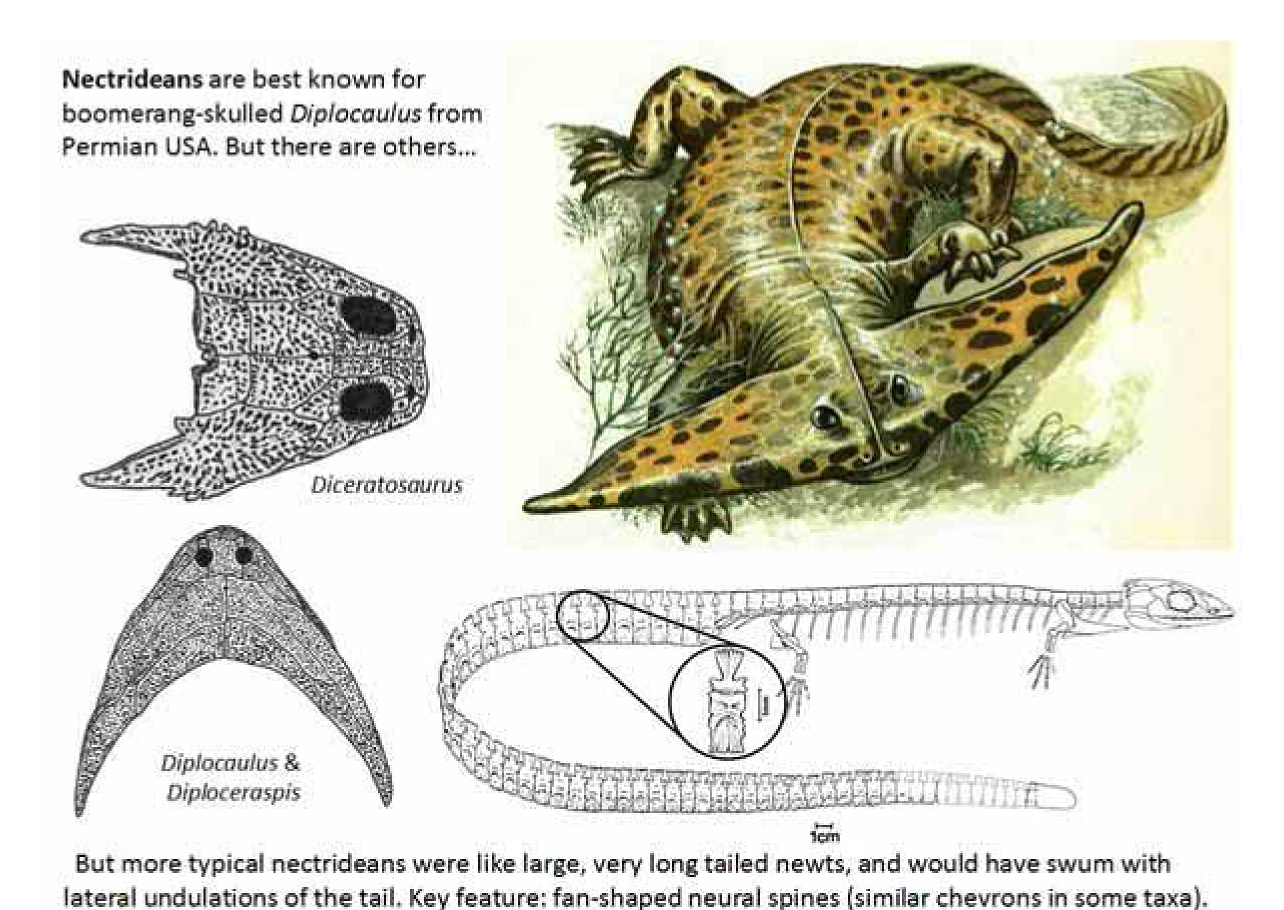


Rhynchonkos Pelodosotis

إن الـnectrideans القَرْناء بديعة الأشكال. لقد كان لها جماجم مسطحة قصيرة الخطم والطرفان الخلفيان لها ممتدان إلى الخلف على كلا الجانبين. لقد كانت الامتدادت في الأشكال المبكرة صغيرة تمامًا، لكنها لاحقًا تطورت لتبدو مثل الأجنحة المتجهة إلى الخلف الخاصة بالطائرة المقاتلة النفاثة.







الصور ٩– ٦ متحجرة الجمجمة والعمود الفقري لـ Diplocaulus أو ذي الرأس ذات شكل الفأسين، وبعض إعادات البناء المحتملة المتصورة له.

Anthracosaurs رباعيات أقدام منبتية [من حيث نقطة التفرع التطوري] ذوات صفات زاحفية

[يعني الاسم باللاتينية "السحالي" التي عُثِر عليها في طبقة الفحم من العصر الكربوني في طبقته الأعلى، ويوصَف به نسل فرع رباعيات الأقدام الغير سلوية البيض ذات الأسنان المعقدة التي يعتقد أنها تطورت إلى الزواحف]. الـAnthracosaurs هي المجموعة الأخرى المتنوعة العديدة من رباعيات الأقدام المبكرة. ربما كان Tulerpeton [رباعي الأقدام من تولا بروسيا] أقدمها (راجع الفصل الثامن)، ولو أننا نحتاج إلى عينة كاملة لتأكيد ذلك. يوجد يقينًا اثنان من الـAnthracosaurs في مجموعة متحجرات الحياة الحيوانية الخاصة بمنطقة East Kirkton. كانت معظمها متكيفة للحياة على نحو رئيسي في الماء، كمفترِسات ذوات أجساد وخطوم طويلة، يُفترَض أنها آكلات أسماك شبيهة الشكل بالتماسيح، وذوات فكوك متطورة للإغلاق العنيف على الفرائس. كانت أطرافها غير متينة جدًا، لكن لعلها كانت جيدة جدًّا للتلوي وسط النباتات الكثيفة المائية في وحول المياه الضحلة. لا بد أنها سبحت بطريقة

مشابهة لسمك الإنقليس. لا يُرجَّح أنها امتلكت السرعة والقوة لملاحقة ومنافسة الأسماك في الماء المفتوح، حتى لو أن بعض أنواعها كان كبيرًا جدًّا، يصل طوله إلى ٤ أمتار (١٣ قدمًا).

كان القليل من الـAnthracosaurs حيوانات أصغر حجمًا وأكثر ضآلةً، مكتيفةً للحياة على البر. تبدو هذه الرباعيات الأقدام أوثق الأقارب التطورية للزواحف المبكرة (راجع الشكل ٩– ١). رغم أن آذانها ظلت متكيفة للأصوات المنخفضة التردد المنقولة عبر الماء. إن Seymouria [رباعي الأقدام السيموري] (الصورة ٩– ٧) والـ Diadectidae أو Diadectes ذوات الأرجل القوية الطويلة الشبيهة بالخاصة بالزواحف النباتية المبكرة هم أعضاء مشهورون في ذلك الفرع التطوري الكبير.

رغم أن الإجماع العلمي هو على أن السلويات تطورت من نوع ما قريب من أو ضمن الـ anthracosaurs، فلا توجد فرضية واحدة قوية. إن المشكلة هي أن السلويات بدأت صغيرة الأحجام، بينما كانت الـanthracosaurs كبيرة الأحجام. أشك أن تغيرًا كبيرًا في الموطن والإكولُجيَّة كان متضمَّنًا هاهنا، لذلك فإنه سيَصْعُبُ العثور على أدلة مقنعة.





الصور ٩– ٧ كان Seymouria أو رباعي الأقدام السيموري واحدًا من القلائل من الـ anthracosaurs المتكيفة جيدًا للحياة على البر. نسبة الصورة إلى ١٠ سم، بالتالي فقد كان طول هذين الحيوانين اللذين من العصر البرمي في جرمانيا [ألمانيا] حوالي ٦٠ سم (قدمين).

السلويات AMNIOTES ورتبة الـAMNIOTA

تعني كلمة amniote سلويٍّ أيْ: رباعي أقدام يكون بيضة داخل غشاء. أما كلمة Amniota اللاتينية كتصنيف فهي الاسم الرسمي للفرع التطوري من رباعيات الأقدام الذي يتضمن كل السلويَّات الحية المعاصرة (الثدييات والزواحف والطيور) وسلفها المشترك. هذا استعمال ذو معنيين للمصطلح غير سهل. فالسلف المشترك لكل السلويَّات ربما كان أو لم يكن أول رباعي أقدام وضع بيضة سلوية (فكيف لنا أن نعرف؟!). لكن لو كنا سنستعمل وسيلة تقوم على أساس المجموعات الإكليلية للتصنيف، فسيكون علينا أن نقبل جوانبها الغريبة بالإضافة إلى قوتها.

البيضة السلويَّة

تختلف البرمائيات الحية عن السلويَّات الحية في العديد من السمات الخاصة بالهيكل العظمي والتي يمكن التعرف عليها في المتحجرات، وفي سمات أخرى تتعلق بالأجزاء الطرية من الجسد ولا يمكن التعرف عليها في المتحجرات. إن السمة الرئيسية الخاصة بالأجزاء الطرية الخاصة بالسلويَّات الحية هي أنها تضع بيضًا يحيطه غشاء، بدلًا من البيض الصغير المغطَّى بالهلام الخاص بالأسماك والبرّمائيّات. يحتاج هذا الاختلاف الجذري الأساسي في البيولُجيَّة انتباهًا خاصًّا لأنه كان هامًّا للغاية في تطور رباعيات الأقدام إلى مستطونة للبر على نحو كامل.

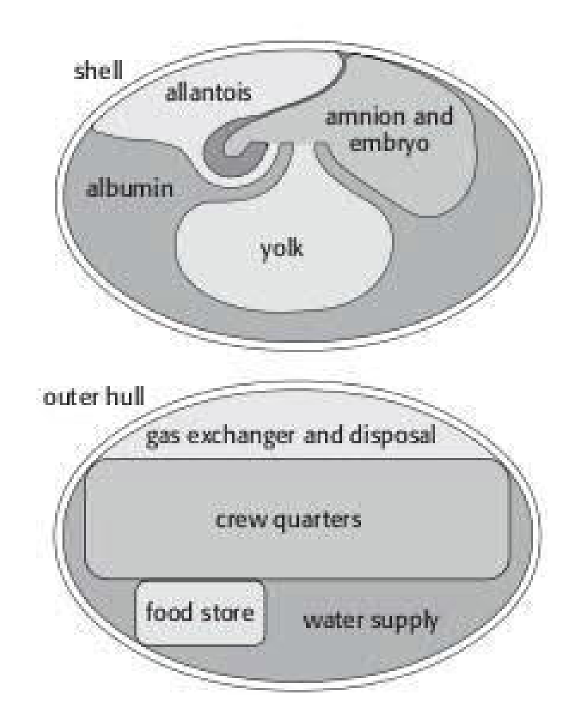
كيف تطورت البيضة السلوية، ومن طورها [تطورت فيه بالأحرى]؟ ربما وضع أبكر السلويات بيضًا برمائي النط، وتطورت البيضة السلوية لاحقًا في سلالته التطورية. وربما وضعت بعض رباعيات الأقدام المبكرة بيضًا سلَوِيًّا قبل أن ينشأ السلف المشترك لكل السلويَّات [متحدِّرًا عن أحد أنسالها]. هذه ليست جدلية سهلة الفهم لأول وهلة، لكنْ فقط شخص غير متفهم لعملية التطور سيكون لديه أية مشكلة منطقية معها.

لقد حلت البرمائيات معظم المشاكل المصاحبة للتعرض للهواء. لكن نظام تكاثرها كان ولا يزال مرتبطاً بالماء، ويظل مشابهًا للغاية للخاص بالأسماك. تفرِّخ كل البرمائيات تقريبًا بيضَها في الماء وتضع عددًا كبيرًا من البيض الصغير الذي يفقس سريعًا عنه يرقات سابحة. لا يحتاج البيض أي حماية معقدة ضد التجفف، لأنه لو جفت البيئة، فإن اليرقات ستكون محكومًا عليها بالهلاك مثل البيض كذلك. بالتالي، عمل الانتخاب الطبيعي على تشجيع الاختيار الفعال الكفؤ للمواقع المناسبة لوضع البيض، بدلًا من أدوات لحماية البيض. قد تهاجر كلٌّ من الأسماك والبرمائيات لمسافات طويلة للتفريخ، وتتنازع على المواقع المفضَّلة بقوةٍ.

أما الزواحف الحية المعاصرة فلها نظام مختلف. إذْ تفقس أطفالها في الهواء [على البر] كحيوانات بريَّة قادرة على الحياة، وكثيرًا ما تكون نسخًا مصغَّرة من البالغات. إلا أن مراحل التنمِّي الجنيني مشابهة على نحو مدهش للخاصة بالبرمائيات. الاختلاف هو أن الزواحف تتنمَّى لوقت أطول داخل البيضة، وهو ما يعني بدوره أن البيضة يجب أن تكون أكبر ويجب أن توفر طعامًا أكثر وأنظمة أخرى داعمة للحياة. تضع الزواحف عادةً بيضًا أقل بكثير من البرمائيات ذوات حجم الجسد المماثل لها، لذلك فقد طورت [تطورت فيها] تكيفات أعقد لضمان فرص أكبر لنجاة كل بيضة مفردة.

إن البيضة الزاحفية (السلوية) مغلة بغشاء قاسٍ مغطًّى بقشرة مصنوعة من مادة جلدية أو كلسية. يسمح الغشاء والقشرة بتبادل الغازات مع البيئة (بخار الماء، CO2، والأُكْسُجِن) لأجْل التمثيل الغذائي [عملية الأيض] لنمو الجنين، لكنها تقاوم كذلك فقدان الماء. وتضع الزواحف البيض على الأرض، لذلك فالبيض لا يدعمه الماء ضد الجاذبية. بل بدلًا من ذلك، تعطي القشرةُ القوةَ للبيضة، وتحميها، وتحفظها في شكل يتيح مساحةً لنمو الجنين بحُريَّةٍ، وتصد عنها التغير في درجة الحرارة والتجفف. إن بيض الطيور مشابه للغاية لبيض الزواحف، لكنه عادة بقشور أصلب، وفي معظم الثدييات تُغَذَّى البيضة بالكامل (بدون قشرة) داخل الجسم بحيث يبزغ الجنين من السلى في الوقت الذي يخرج فيه من أمه (الولادة).

بداخل البيضة السلويَّة، يغذِّي الجنينَ مُحٌّ [صفارٌ] كبير، وجيوب داخية تعمل كوحدات لتبادل الغازات والتخلص من الفضلات. رغم ذلك، فإن أكثر الابتكارات التطورية أساسيةً هو تطور جيب داخلي آخر مليء بالسائل، وهو السَلَى، والذي يطفو فيه الجنينُ. تعمل البيضة السلوية للجنين ما تفعله السفينة الفضائية من احتضان لرائد الفضاء في بيئة فضائية: بها مخزن طعام، وإمداد بالطاقة، ومتبادِلات للغازات، ونظام صرف صحي (انظر الصورة ٩- ٨).



الصورة ٩– ٨ تتشابه جزئيًّا البيضة السلوية بالعديد من الطرق والنواحي مع سفينة الفضاء. تحتوي البيضة السلوية على الجنين والسلى، والصفار yolk، والزلال albumin، وغشاء السقاء allantois، والقشرة. وتحتوي السفينة الفضائية على مأوى الطاقم ومخزن الطعام وإمداد الماء ووحدة تبادل الغازات والصرف الصحي والبدن أو الغلاف الخارجي للسفينة.

ولأن الجنين في البيضة السلوية يكون مغلَّفًا في أغشية، وكثيرًا ما يكون داخل قشرة، فإنه يجب أن يُلَقَّح بيض الأنثى قبل أن يُغَلَّف في آخر الأمر. لا بد أن التلقيح الداخلي [في معظم حالاته عدا حالات كحالة سمكة القرش] قد تطور ضمن تطور البيضة السلوية.

لقد قطع تطور البيضة السلوية الرابط التكاثري الأخير مع الماء ومكَّن رباعيات الأقدام من اتخاذ طرق اعتياش برية بالكامل. لقد تطلب تطورها تغيراتٍ في أنماط السلوكيات وفي تشريح الأجزاء الطرية والفسيولُجيَّة [وظائف الأعضاء]. إن الأشكال الانتقالية الوسطى إما تطورت إلى أو تغلبت عليها في المنافسة الحيوانات الأكثر تطورًا، لذلك فهي منقرضة في العصر الحالي وغير متاحة للدراسة المباشرة.

لقد تطورت البيضة السلوية على الأرجح في رباعي أقدام مبكر بدا مثل زاحف ضئيل. سأقدم هنا سيناريو معقولًا لتطور السلويَّات. قد تدعمه أو تناقضه الأدلة المستقبلية، أو تحل محله قصة أبسط أو أبرع.

مع القدرة المتزايدة لرباعيات الأقدام من كل الأنواع على القيام بغزوات للبر، صارت مواضع تكاثرها أقل أمنًا. صارت المواقع التي قد كانت ذات مرة مآوي آمنة للحيوانات الصغار تدريجيًّا أكثر عرضةً للمُغِيرين. وهكذا فنفس الضغوط التطورية التي اقترحتُها في الفصل الثامن لنشأة رباعيات الأقدام من سلالة من الأسماك "دفعت" حينذاك بعض رباعيات الأقدام إلى "السعي" لمآوٍ لا تزال آمنة للتكاثر وتنمي صغارها. في فعلها ذلك تطورت إلى أول السلويات، وحوفِظ عليها في بيئات مختلفة تمامًا عن الخاصة بأسلافها.

صارت الغزوات الأكثر من الماء إلى البر أكثر إمكانية مع تطور الحياة النباتية المزدهرة التي وفرت عددًا لا يُحصَى من أماكن الاختباء الرطبة في وَحَوْلَ مستنقعات العصر الكربوني. استطاعت رباعيات الأقدام صغيرة الأحجام العثور على أماكن صغيرة آمنة مستورة خفية والتي كانت رطبة على نحوٍ كافٍ لحضن البيض ولكنْ غير واضحة على نحوٍ كافٍ لجذب المفترِسات. ربما امتلكت أنماطًا سلوكية شبيهة بالخاصة بالكثير من البرمائيات الحية المعاصرة، وخاصةً ضفادع الأشجار والسمندلات ساكنة الأشجار.

إن المشكلة الرئيسية في وضع بيض غير ذي قشرة بعيدًا عن الكتل المائية الأكبر هي التجفف، في وقت التفريخ وأثناء التنمي الجنيني. كان نوع بدائي من غشاء البيضة سيكون حلًّا جزئيًّا لمشكلة التنمي الجنيني. يسهُل تمامًا تصور تحسن أكثر لهذا النظام بعد ذلك. كان التلقيح الداخلي حلًّا تمهيديًّا على الأرجح لمشكلة التجفف أثناء تفريخ البيض. طورت بعض البرمائيات الحية على نحو مستقل نوعًا بدائيًّا من التلقيح الداخلي.

تمر معظم الضفادع والعلاجيم [ضفادع الطين] بعملية تنمي معقدة بعد الفقس. يتضمن التحول العنيف من شرغوف [فرخ برمائي] إلى بالغ ليس فحسب إعادة تنظيم تشريحية بل وأيضًا تغيرًا كبيرًا في أسلوب الحياة. يمكن حل المشاكل المرافقة لهذا النوع من التكاثر البرمائي، أحيانًا بطرق رائعة مشهدية.

كثيرًا ما يفقس بيض ضفدع الشجر عن شراغيف في أماكن بها القليل من الماء. تحمل بعض الضفادع شراغيفها واحدًا تلو الآخر إلى "برك" صغيرة في نباتات بروميلية [نباتات أحاديّة الفلقة تتبع رتبة القبئيَّات، وهي نسبةً للعالِم بروميل] bromeliad or bromeliaceae، وبعضها تحملهن في أجربة على أجسادهن حيث يتنمى الصغار إلى نسخ مصغرة من البالغات، وفي بعض الضفادع الأسترالية تبتلع الإناث بيضها بعد تخصيبه وتُفقِس وتُنَمِّي الصغار داخل أجسادهن في الجهاز الهضمي (حيث لا تتغذى أثناء حضنها للبيض!).

ربما كان لرباعيات الأقدام المبكرة طريقة تنمي جنيني أكثر مباشرةً بكثير، بحيث كانت تفقس نسخًا مصغرة من البالغات. تضع القليل من الضفادع اليوم بيضًا كبير الحجم، بقطر ١٠ مليمرات، والذي يفقس عن نسخ مصغرة من البالغات. لا يُظْهِر هذا البيض أية علامة على التطور باتجاه البيض السلوي، لكنه يرينا أن بعض البرمائيات الحية المعاصرة تستطيع أن تضع بيضًا كبيرًا يتنمى جنينيًّا من بعد ذلك بدون تحولات معقدة. كما يُفترَض، عندما تطورت البيضة السلوية، فإن المشاكل التكاثرية التي تواجهها في العصر الحالي الضفادع الحية تُجُنِّبَت ببساطة بتمكين الجنين من التنمي لوقت أطول فأطول داخل البيضة. يمكن أن يكون التنمي الجنيني طويل الزمن _بالتأكيد_ قد تطور تدريجيًّا مع زيادة حجم وتعقيد البيضة.

التطور باتجاه وضع البيض في الهواء الرطب بدلًا من الماء ربما يكون قد سجع عليه إمداد الأكسجين الأفضل المتاح من الهواء. قد تتعرض بيضة موضوعة في الماء _وخاصة كتلة صغيرة دافئة من الماء_ لظروف منعدمة أو شحيحة الأكسجين، وخاصة في المواطن الاستوائية في العصر الكربوني المبكر. طالما لا تتجفف البيضة، فقد تحصل على إمداد أفضل بالأكسجن في الهواء الرطب أكثر من الماء.

تقدم هذه القصة فكرة موحِّدة جامعة تربط التطور من سمك إلى سلويات من خلال رباعيات الأقدام المبكرة. في خلال كل ذلك، ارتبطت التغيرات التطورية بنجاح التكاثر. وكنتيجة جانبية ثانوية، شُجِّعَت الحيوانات على دخول مواطن جديدة. وعندما فعلوا ذلك، طوروا طرقًا لاستغلال تلك المواطن، وصارت الطرق الجديدة للاعتياش ليست ممكنة فحسب بل ومشَّجعًا عليها. إن الأفكار البسيطة التي تفسر الكثير من الحقائق مُرْضية دائمًا، لكنها مجرد قصص إلى أن تُختبَر في مواجهة الأدلة.

لماذا كانت أوائل السلويَّات صغيرة الأحجام؟

امتلكت الأسماك عظمية القشور osteolepiforms ورباعيات الأقدام كبير الأحجام المبكرة جماجم طويلة ثقيلة، وفكًّا مطوَّرًا للغلق العنيف على الفرائس كبيرة الأحجام، والتي كانت بعد ذلك تُبتَلَع بالكامل أو في قطعٍ كبيرة. كان هناك القليل من المضغ فقط، وكانت عضلات الفك تُحدِث ضغطًا قليلًا على خط الأسنان.
رغم ذلك، فقد كانت بعض رباعيات الأقدام في العصر الطباشيري وكل السلويات المبكرة صغيرة الأحجام. كانت كل السلويات المبكرة بحجم السحالي الحية المعاصرة تقريبًا، وتشابهها كثيرًا في مناسيب الجسم وهيئته وآليات الفك (الصورتان ٩- ٩، و٩- ١٠). وقد كانت على الأرجح مشابهة لها إيكولُجيًّا أيضًا. لقد امتلكت جمجمة صغيرة على نحو جدير بالملاحظة مع فك قصير ملائم على نحو جيد لإمساك ومضغ وسحق الفرائس الصغيرة المتملصة المتفلّتِة، ولتغيير المسكة لعمل عضات متكررة. كان الرأس الصغير موضوعًا على رقبة متمفصلة سمحت بحركة سريعة رشيقة جدًّا ثلاثية الأبعاد، بينما في الكثير من رباعيات الأقدام المبكرة تحركت الجمجمة الطويلة الثقيلة على نحو رئيسي إلى الأعلى والأسفل ولا بد أن الرقبة بدت صلبة جدًّا (هذا التكيف فعَّال للكائنات السابحة). ولكنْ لماذا الحجم الصغير؟

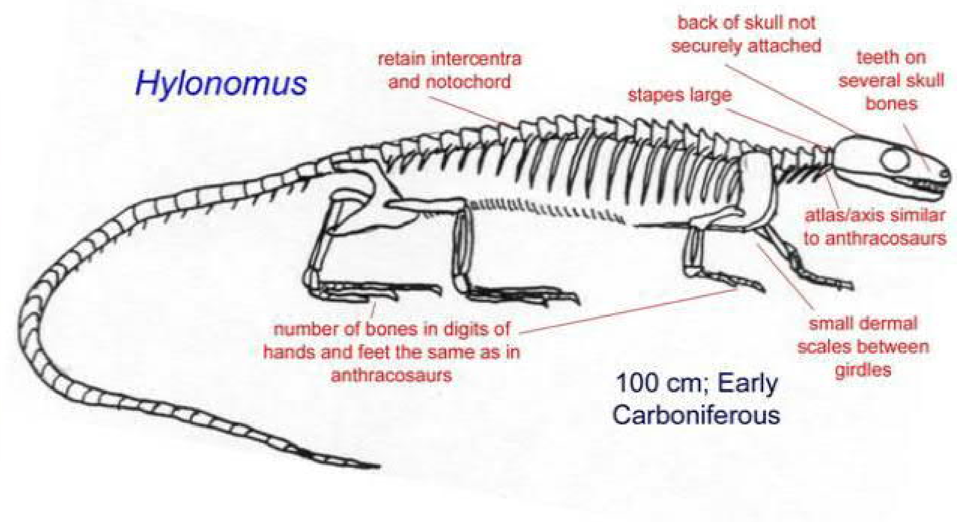
الحيوانات التي قضت وقتًا أطول على البر لم تفعل ذلك بوضوح لأنها تسعى لأماكن للتكاثر، بل لأنه كان يوجد هناك إمدادت ممكِنة بالطعام. كانت غابات العصر الكربوني ثريّةً بالديدان والحشرات واليرقانات الدودية. إن الحيوانات الصغيرة السن أو الحجم كانت ستكون الأفضل ملاءمةً للبحث عن هذا النوع من الغذاء. إن الدود والحشرات واليرقانات صغيرة ولو أنها مغذية للغاية، ويسهُل الإمساك بها والتعامل معها وابتلاعها، ويمكن العثور عليها في الشقوق والصُدُوع في متاهة نباتات نامية في وضعية غابة معقدة ثلاثية الأبعاد. ومعظم أنواع هذه الفرائس الممكِنة بطيئة الحركة، ولا يحتاج المفترِس الناجح أن يكون سريعًا وسريع الحركة في بادئ الأمر. لكن لعل الحيوانات صغيرة وخفيفة الأجساد سرعان ما طورت سرعة أكبر عندما توسع مخزونها من الفرائس إلى العدد المتزايد من الحشرات الكبيرة في غابات العصر الكربوني.

ربما أيَّدَ صِغَرَ حجمِ الجسد أيضًا عاملٌ متعلق بتنظيم درجة الحرارة. تواجه الحيوانات درجات حرارة متطرفة أكبر في الهواء مما تواجهه في الماء، وتستطيع الحيوانات الصغيرة الاحتماءَ بسهولة أكثر من البرد القارس أو الحرارة الشديدة وسط النباتات، في الصدوع والشقوق، أو في جذوع الأشجار الجوفاء أو المثقوبة، أكثر مما تستطيعه حيوانات في حجم Ichthyostega [رباعي الأقدام ذو الأشواك السمكية]. الأجسام الصغيرة أيضًا أسرع وأسهل تسخُّنًا بالتدفؤ في الشمس. مجددًا، هذا يقترح أن الرحلات على البر أو فوق الأشجار كانت ستكون مفيدة على أكثر نحوٍ للحيوانات الأطفال أو صغار الحجم.

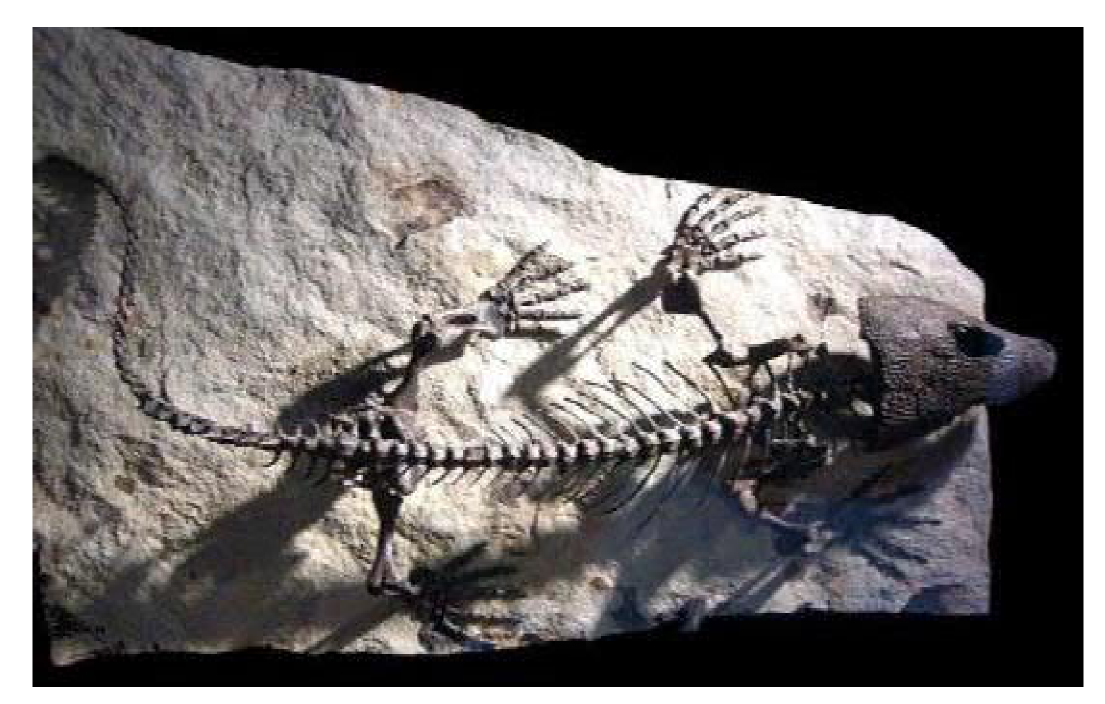
أحد السيناريوهات المعقولة لتطور السلويات _والتي يعود معظم الفضل فيها إلى Robert Carroll_ هو أنها تطورت على أرض غابة مغطاة بالمواد المتعفنة، كركام أوراق الشجر والفروع الساقطة وجذل الشجر، وهي أماكن مثالية لاختباء الفرائس وبحث السلويات عنها (الصورة ٩- ١١ كمثال).

يبدو هذا السيناريو معقولًا على نحو كافٍ للناس المعتادين على الغابات معتدلة المناخ. لكنَّ أراضي الغابات الاستوائية خالية من النباتات الصغيرة والعشب، لأن ظل أشجار الغابة كثيف للغاية ومتواصل بحيث لا تنمو أي نباتات عند مستوَى الأرض، عدا على طول ضفاف الأنهار حيث تقطع الحواجز المائية تواصل [أو استمرارية] ظل الأشجار، أو حيث تشق العواصف أو البشر طريقًا بإزاحة وقطع الأشجار. تتحلل الفروع وأوراق الشجر والأجزاء الساقطة الأخرى من ركام المخلفات العضوية ويُعاد تدويرها سريعًا بفعل الفطريات والحشرت بحيث تجد الفقاريات أن الحياة تصعُب هناك. وعلى النقيض، تعج المظلة الشجرية وضفاف الأنهار بالفقاريات صغيرة الأحجام؛ فالزواحف والبرمائيات والثدييات والطيور في المظلة الشجرية، والأسماك في الماء. إن Hylonomus [يعني اسمه ساكن الغابات] هو أحد الأمثلة. ربما لم يكن هذا حالة شاذة للحفظ كمتحجرة. فربما عاشت السلويات المبكرة بداخل جذوع الأشجار المجوفة، كما تفعل الثدييات صغيرة الأحجام آكلة الحشرات في العصر الحالي في الغابات الاستوائية المطيرة، أو ربما اختبأت واحتمت في جذوع الأشجار الجوفاء أو طُمِرت فيها وانجرفت إليها أثناء فيضانات.

أفضل المرشَّحين لأن يكونوا أوائل السلويات وُجِدوا في العصر الطباشيري المتأخر. لقد كانوا يعيشون في الغابات في العصر البنسلفاني المبكر [عصر من حقبة الحياة القديمة، يأتي بعد المسيسيبي وقبل البرمي، وامتد ما بين ٣٢٠ إلى ٢٨٠ مليون سنة ماضية، وهو معروف في أمِرِكا الشمالية فقط وهو تقريبًا مساوٍ للعصر الكربوني العلوي أي المتأخر في الاستعمال الأورُبي]. تحجرت الكثير من جذل وجذوع الأشجار في وضع مستقيم كما كانت في الحياة، في صخور Nova Scotia [محافظة كندية بحرية يعني اسمها إسكتلندا الجديدة] (الصورة ٩- ١٢)، وقد وُجِدَت سلوياتٍ محفوظة كمتحجرات بداخل بعض الجذل المجوفة.











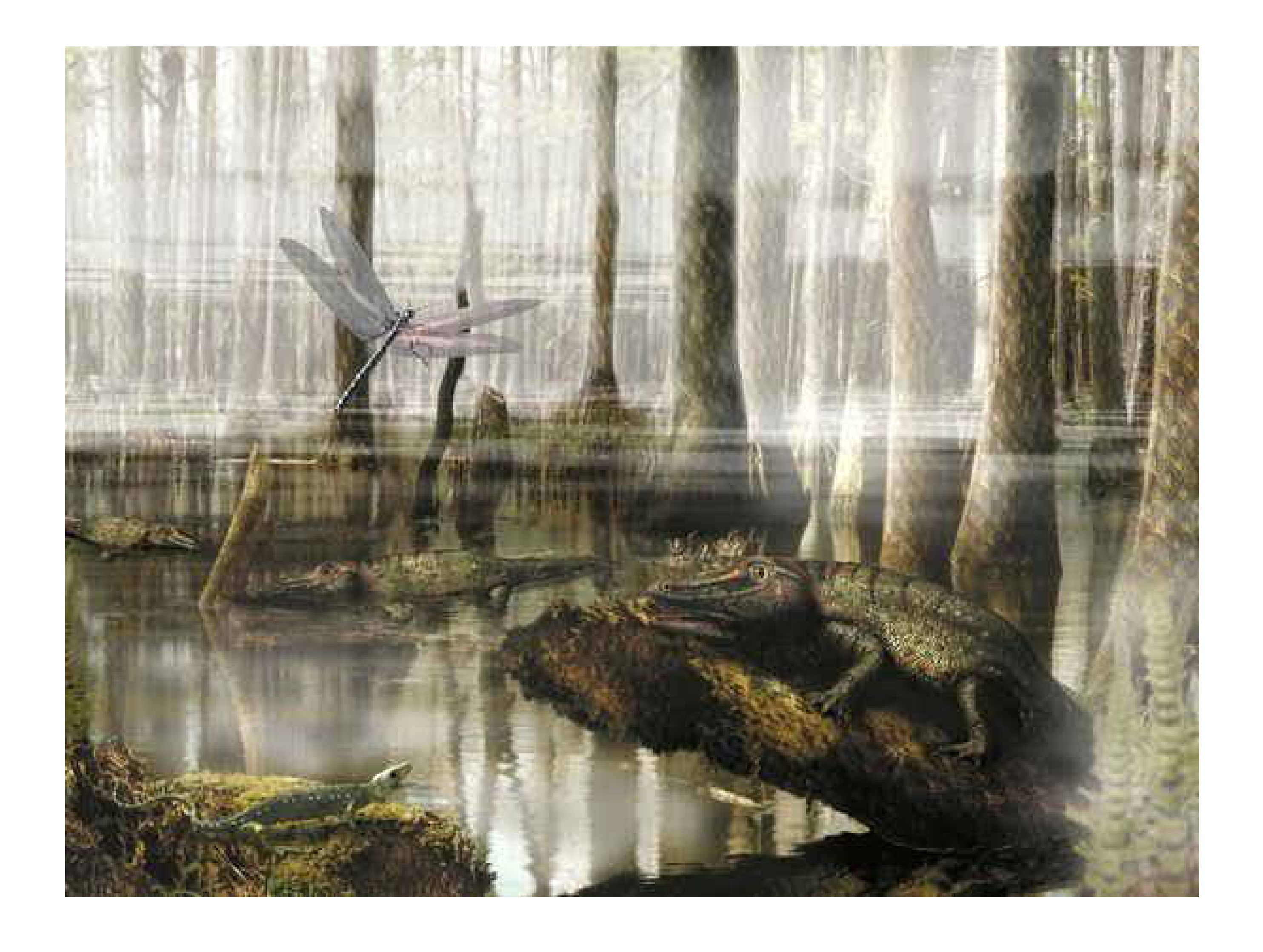
الصور ٩– ٩ و٩– ١٠ و٩– ١٠ مكرران: Hylonomus وتعني ساكن الغابات كان زاحفًا مبكرًا جدًّا، عاش منذ ٣١٢ مليون سنة ماضية، خلال العصر الكربوني المتأخر، سلوي مبكر عُثر عليه في جذل الأشجار المتحجرة في العصر الكربوني المتأخر، وهو أول زاحف لا يُشك في انتمائه للزواحف، وكان طوله ٢٠ سم شاملًا الذيل، وعلى الأرجح بدا مثل سحلية صغيرة معاصرة، وكان له أسنان حادة صغيرة وعلى الأرجح أكل اللافقاريات الصغيرة كألفيات الأرجل والحشرات المبكرة.

أيًّا ما كان الاقتراح الذي يفضِّله المرءُ، فسوف أجادِل بأن السلويات الأولى كانت تعيش في مظلة أشجار الغابات في العصر الطباشيري المتأخر. لقد تضمنت الغابات الفحمية في العصر الكربوني المتأخر أشجارًا ليكوبيدية lycopod [من فصيلة الذئبيات السرخسية أو قدم الذئب] ضخمة بطول ٣٠ مترًا (١٠٠ قدمٍ) (الصورة ٩– ١١)، وأشجارًا سرخسية كثيفة وصلت حتى طول ١٠ أمتار مشكِّلةً طبقة سفلية (الصورة ٩– ١٣). كانت الأشجار الذئبية هشَّةً وغير عميقة الجذور، وربما كانت جوفاء في حياتها، كحال الكثير من الأشجار الاستوائية في العصر الحالي. وبعد أن قتلتها عواصف أو كبر السن (الصورة ٩– ١١)، بقيت جذلها الجوفاء أحيانًا منتصبةً (الصورة ٩– ١٢).

التسلق العمودي سهل بجسد صغير الحجم، بالتالي ربما كانت فقاريات العصر الكربوني صغيرة الأحجام ساكنةً للأشجار، كحال الكثير من السمندلات في العصر الحالي. توفر الأشجارُ أماكنَ رطبةً لوضع البيض فيها، وتوفر الحياة الحشرية الثرية في أعلى مظلة أشجار الغابات غذاءً وفيرًا. حتى العصر الحالي، فإن السمندلات (والعناكب) هي المفترِسات العليا (قمة الهرم الغذائي) في أجزاء من مظلة أشجار الغابات في أمركا الوسطى وأمركا الجنوبية. ربما يصور سجل المتحجرات الثري الخاص بحشرات وعقارب وعناكب وسلويَّات العصر الكربوني المتأخر النظام البيئي الإيكولُجي الخاص بالمظلة الشجرية عوضًا عن أراضي الغابات.




"Eryops in Carboniferous swamp"
Copyright © Walter Myers
http://www.arcadiastreet.com





الصور ٩– ١١ إعادة بناء وتصور لبيئة مستنقع من العصر الكربوني. كانت الأشجار طويلة لكن كثيرًا ما كانت غير عميقة الجذور وذوات بنية ضعيفة، لذلك فكثيرًا ما كانت تميتها العواصف والفيضانات. عاشت حياة حيوانية ثرية تتكون من الحشرات والعناكب ومفصليات أخرى في هذا النظام البيئي، وأعتقد أنه من المرجَّح أن الزواحف صغيرة الأحجام المبكرة عاشت أعلى الأشجار بنفس مقدار ما عاشت تحتها. كان المشهد ذا توسع كبير متنامٍ على وقرب أرض الغابة، لأنه قريب من مصدر مائي متاح.



الصورة ٩– ١٢ في عام ١٨٦٨م وصف عالم الجيولُجِي الكندي William J. Dawson متحجراتٍ للزواحف المبكرة محفوظة كمتحجرات بداخل جذل أشجار مجوفة لا تزال تقف منتصبةً في غابة متحجرة في Joggins، في Nova Scotia. قدَّم Dawson صورة وصفية مفعمة بالحيوية والشعور لهذه البيئة القديمة، وهذا الرسم يصوِّر روايتَه.



بعض متحجرات الأشجار السرخسية الذئبية في نوڤا سكوتيا في كَندا

البيئة الحيوية البرية في العصر الكربوني

قليل هو ما نعرفه حتى الآن عن إيكولُجيَّة اليابسة الخاصة بالعصر الكربوني المبكر. إن متحجرات منطقة East Kirkton هي رباعيات الأقدام التي نعرفها على أفضل نحو من ذلك الزمن، وهي محفوظة على نحو جيد على غير ما هو معتاد. كل رباعيات الأقدام من العصر الديڤوني والكربوني المكتشَفة حتى الآن عاشت قرب خط الاستواء.

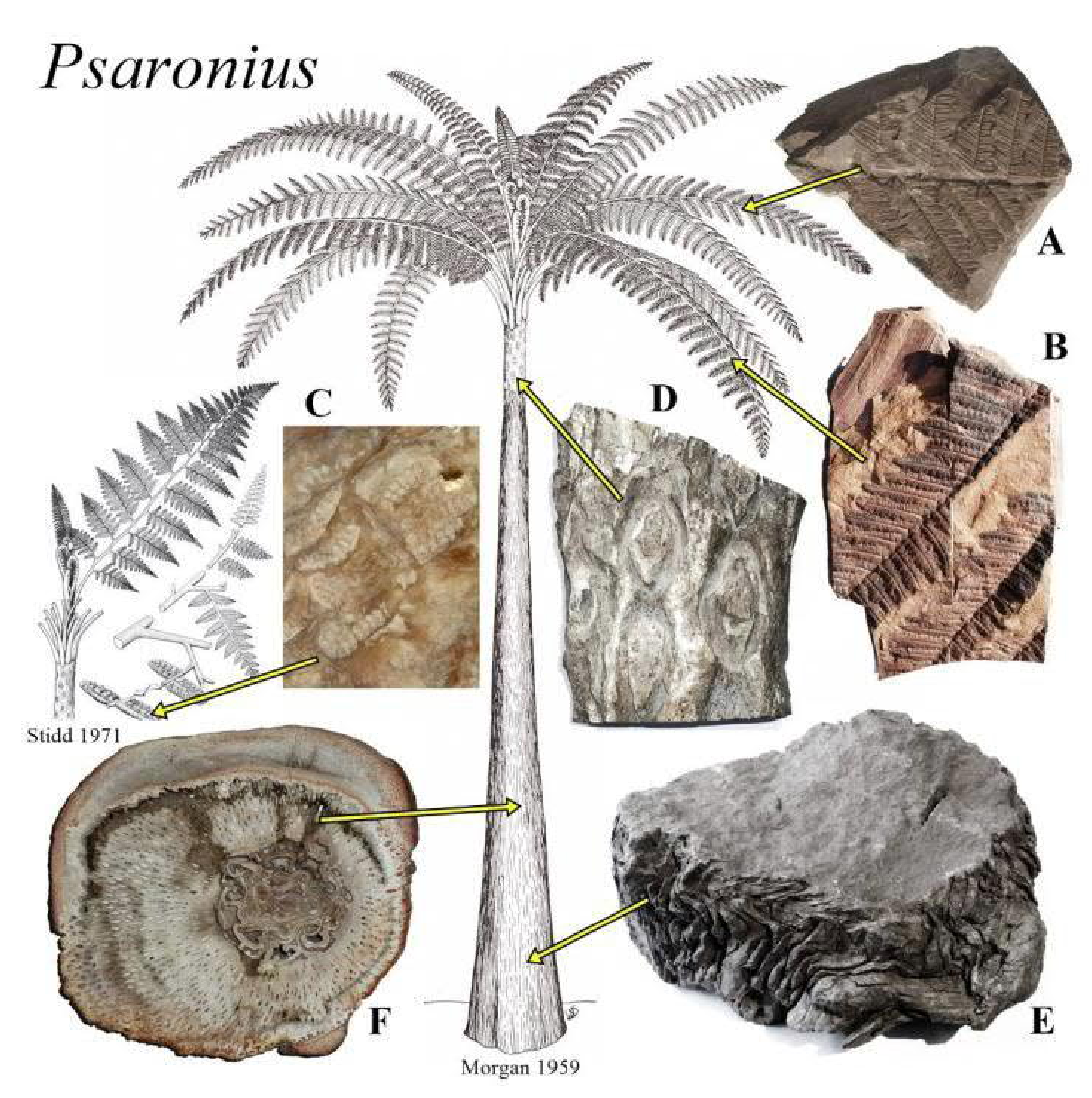
تصير الأدلة أفضل بكثير عندما نلتفت إلى العصر الكربوني المتأخر أو البنسلڤاني. لقد دُرِسَتْ حقول مناجم فحم العصر الكربوني المتأخر بتركيز وكثافة لأسباب اقتصادية، مما قدَّم معلوماتٍ كثيرة تعطينا صورةً جيدة عن الحياة النباتية والإيكولُجيَّة القديمة للعالم في ذلك الزمن. كانت أشجار الذئبيات تهيمن على الغابات المستنقعية في الأراضي السهلية المنخفضة الاستوائية، وكوَّنَتْ المخلفاتُ النباتية والعضوية التي أودِعَت في الماء الفقير بالأكسجين تراكمات كثيفة من الخُثِّ [أو الدرين: النسيج النباتي النصف متفحم]، والتي ضُغِطَت وحُفِظَتْ بعد ذلك كطبقات فحم ضخمة تمتد من الغرب الأوسط الأمِركي حتى البحر الأسود.

في الزمن الذي دُفِنَ كل ذلك الكربون، ربما كانت هناك مستويات عالية من الأكسجين في البحار والهواء في العصر الكربوني. ربما صار تطور الطيران في الحشرات _وهو نشاط مُستلزِم لوقود كثير_ ممكِنًا بفعل الهواء الثري بالأكسجين، لكنْ حتى اللحظة الحاليّة فإن البيانات والاستنتاج تخمينيّان جدًّا.

لم تكن هناك آكلات للنباتات بين المفصليَّات البريَّة المبكِّرة، ربما بسبب بوليمر الليجنين lignin (راجع الفصل الثامن). تكونت هذه المادة المعمَّمة في النباتات الوعائية من خلال مسارات كيميائية حيوية تتضمن موادًا سامة كثيرًا ما تُخَزَّن في جدران الخلية وفي الخلايا النباتية الميتة. جعل الليجنين

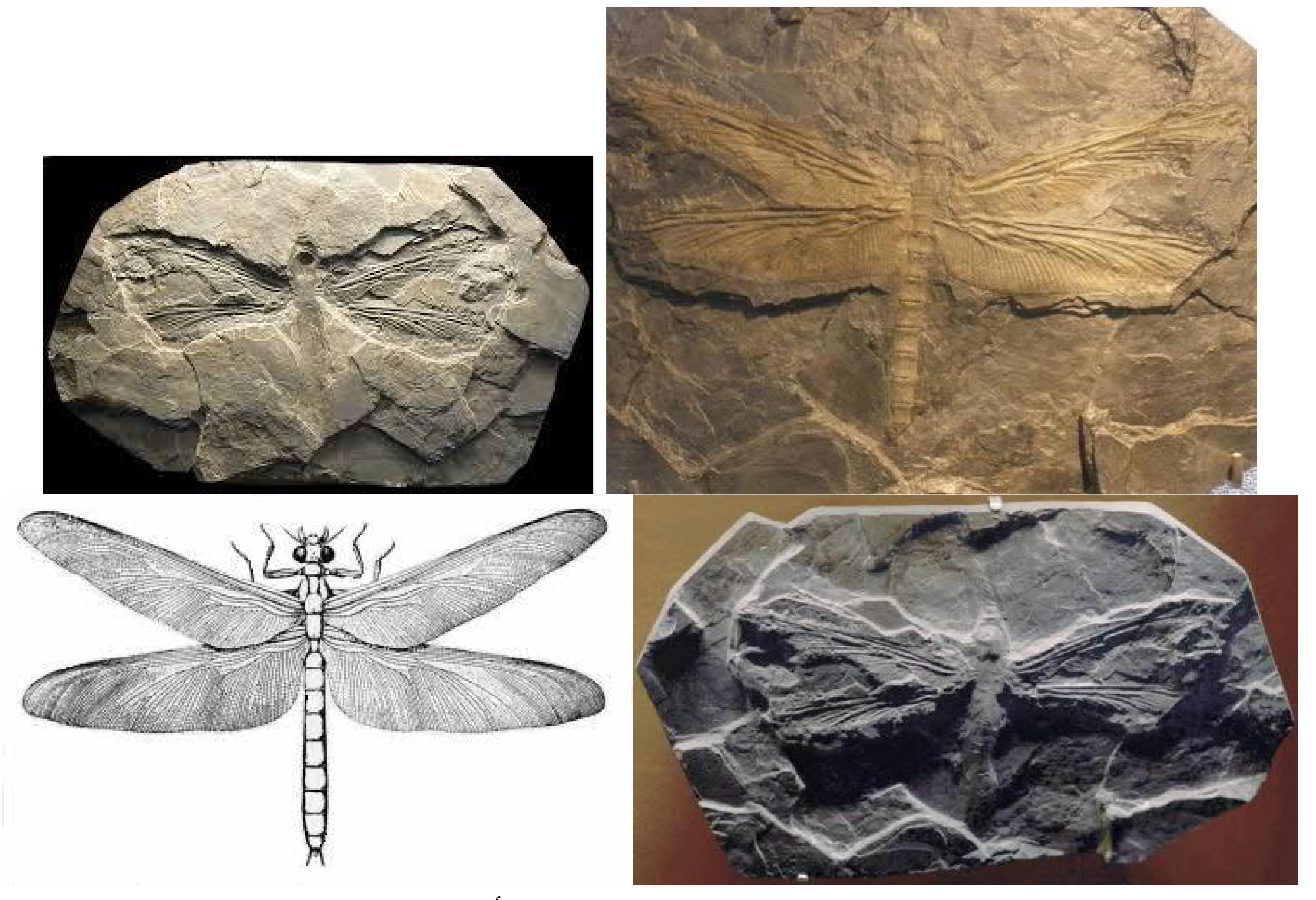
والكيمياء الحيوية المرافقة له النباتات الوعائية على الأرجح محصَّنةً منيعةً ضد آكلات النباتات المُمكِنة، من العصر السيلوري حتى العصر الكربوني المتأخر.

لكن في نهاية الأمر _بالتأكيد_ قام كلٌ من اللافقاريات والفقاريات بالتقدم التطوري الكبير الذي مكنهما من التغذي المباشر على النباتات. تستطيع البكتيريا والفطريات تفكيك السموم في النباتات الميتة، ويُحتمَل أن تعايشًا تكافليًا مع أحدهما أو كليهما [داخل معدة الحيوانات] (راجع الفصل الثالث) مكَّنَ بعضَ الحيواناتِ من أكل المواد النباتية الحيّة عن طريق إنزيم مساعد على الهضم. وأيضًا، طورت النباتات البريّة المبكرة أبواغًا أكبر وبذورًا (راجع الفصل الثامن) والتي كانت مغذِّية جدًا ومنخفضة السُمِّيَّة، وبالتالي أكثر عرضة لهجمات المفصليات. سرعان ما طورت الحشرات تركيبها التشريحي لتتغذى على الأنسجة التكاثرية الخاصة بالنباتات. ربما تكون البذور قد تطورت ليس لأجل منع أفضل لتبخر الماء لأجل الجنين فحسب، بل وأيضًا لأجل منع افتراس الحشرات لها.



الصورة ٩- ١٣ شكلت الأشجار السرخسية مثل Psaronius [ذات النقط، سميت كذلك لأن متحجرتها عند تهذيبها ظهر بها شكل نقط] طبقة سفلية كثيفة طولها عدة أمتار في الغابات حول المستنقعات في العصر الكربوني، تحت مظلة الأشجار ذوات طول الثلاثين مترًا.

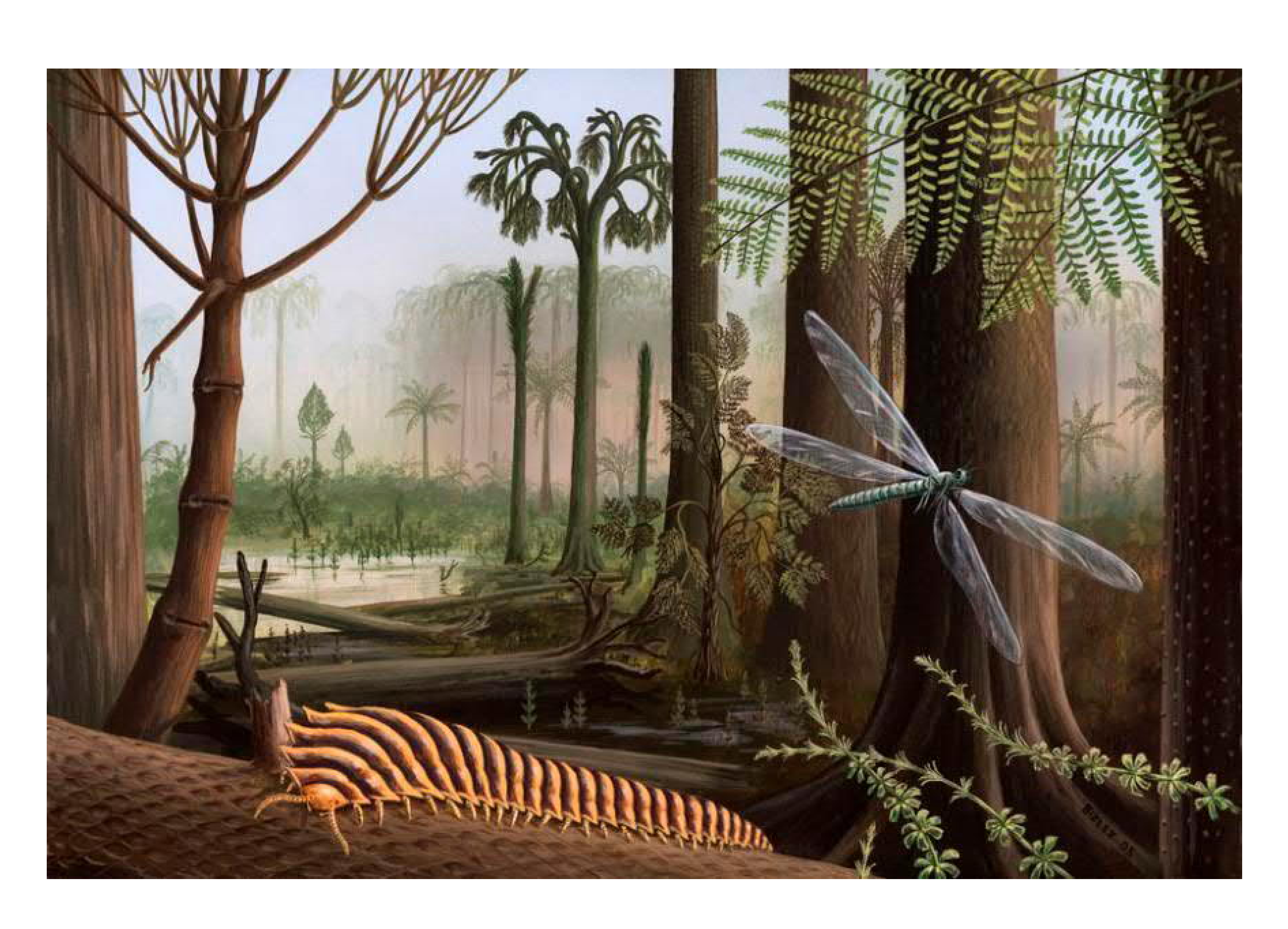
كانت أقدم حشرة من العصر الديفوني، لكن الحقيقة الواضحة لتطور الحشرات المبكرة هي التشعب الانفجاري للحشرات المجنحة في العصر الكربوني المتأخر، منذ حوالي ٣٢٥ مليون عام ماضٍ. امتلك بعضها أجزاءً فمية للتعامل مع مخاريط التكاثر البدائية المفتوحة وكانت مَعِداتها تتحجر أحيانًا مع كتل من الأبواغ داخلها. وامتلكت أخرى أجزاء فمية ثاقبة وماصة للحصول على عصارات النباتات. في المجمل، يبدو أن أكل أوراق النباتات كان نادرًا في الحشرات المبكرة، وبدلًا من ذلك فقد أكلت أجزاء [أعضاء] التكاثر النباتية، وامتصت العصارات النباتية، أو أكلت الحشرات الأخرى. كانت اليعاسيب الضخمة مفترِسات طائرة تغذَّتْ على المفصليَّات الأصغر؛ وكانت يعاسيب دهر الحياة القديمة المتأخر Paleozoic أكبر حشرات طائرة تطورت على الإطلاق، ذوات مسافة بين طرفي جناحيها تصل إلى ٦٠ سم (الصورة ٩- ١٤).



الصور ٩- ١٤ يعسوب ضخم (Meganeura) من العصر الكربوني المتأخر. امتلك جناحان المسافة ما بينهما ٦٠ سم.

حدث التطور الانفجاري في اللافقاريات السائرة على البر بحلول العصر الكربوني المتأخر، وكان معظمه متصلًا بتطور التغذي على النباتات في الحشرات؛ فقد سُجِّلَ ١٣٧ جنسًا من المفصليات البريَّة من طبقات خليج Mazon Creek في Illinois، تتضمن ٩٩ حشرة و ٢١ lbb والكثير من ألفيات الأرجل [كثيرات الأرجل] أيضًا. لقد كانت معظم المجموعات الحية من العناكب قد تطورت في العصر الكربوني المتأخر، ما عدا العناكب المعقَّدة غازلات الشبكة الدائرية [على شكل عجَلة، الغازل المداري] فهي مفقودة فيه. كانت أم أربعة وأربعين [أو مئوية الأرجل] من المفترِسات المهمَّة.

إن ألفيَّات الأرجل معيدات تدوير مهمة في الغابات في العصر الحاليّ، تتغذَّى على المواد النباتية المتحلِّلة. إنها تتضمن أشكالًا مسطَّحة تتلوى إلى الشقوق في الخشب الميت وتشق لطريقها حرفيًّا فيه، واصلةً إلى طعام جديد وموفِّرة مكانًا للإيواء وكحجرات لحضن البيض في نفس الوقت. وصلت ألفيَّات الأرجل الخاصة بالعصر الكربوني إلى طول نصف متر. ووصل أحد أقاربها _وهو Eoarthropleura أو Arthropleura_ إلى طول 3 ,2 مترًا (٧ أقدام)، وقُطْر ٥٠ سم (١٨ بوصة). تقترح محتويات مَعِدة Arthropleura أنه كان يأكل الجزء الخشبي اللبي المركزي الخاص بالأشجار السرخسية.





رغم ذلك، فمعظم الفقاريات المبكرة كانت مفترِسة [لواحمَ]. أكلت الأسماك ورباعيات الأقدام الصغيرة الأحجام واليعاسيب الضخمة كلُّها الحشرات، وبدورها أكلتها مفترِساتٌ أكبر حجمًا. إذن، بالنسبة للفقاريات البريَّة المبكرة قدَّمت نباتات المستنقعات وما حولها الكربونية مأوىً وغطاءً، ولكنْ ليس غذاءً. تطور أكل الفقاريات للنباتات لاحقًا، كما سنرى في الفصل التالي.

الفصل العاشر

السلويَّات المبكرة وتنظيم الحرارة

لقد شجعت على تشعب السلويات على الأرجح الفرص الإيكولُجيّة المتاحة بعيدًا عن الكتل المائية. لكنْ بعيدًا عن الماء، يكون للبيئات الصغيرة المحدودة رطوبة أقل، وتعرض أكثر للأشعة الشمسية ولليالي الأبرد، وكانت أقل خُضْرةً نباتيةً وذوات مآوٍ وملاجئ أقل، وتقلبات أكبر في درجة الحرارة. تُسْتَلْزَمُ درجةٌ ما من التحكم في درجة الحرارة أو تنظيم الحرارة للعيش في تلك المواطن، وإن الاستجابات التطورية العديدة الخاصة بالزواحف على التحديات البيئة والفسيولُجيَّة هي مواضيع رئيسية في دراسة تاريخها التطوري.

بزغت رباعيات الأقدام على البرِ، وتطورت أوائل السلويّات في مناطق استوائية دافئة رطبة على طول شواطئ القارة الشمالية الكبيرة القديمة أورامِركا Euramerica. تطلب العيش بعيدًا عن تلك البرك والغابات تكيفاتٍ للتعامل مع المواسم، حيث تتنوع درجات الحرارة وسقوط الأمطار وإمدادات الغذاء أكثر بكثير وهي أقل قابلية لتوقعها مما هو عليه الحال في المناطق الاستوائية. بالعديد من الطرق، كانت تلك التحديات للفقاريّات البريّة المبكّرة بوضوحٍ إضافات على المشاكل المتضمَّنة في مغادرتها الماءَ. في هذا الفصل سوف نتتبع التاريخ المبكر للسلويَّات وندرس التكيفاتِ التي مكَّنَتْها من نجاحها الكبير على البرِّ.

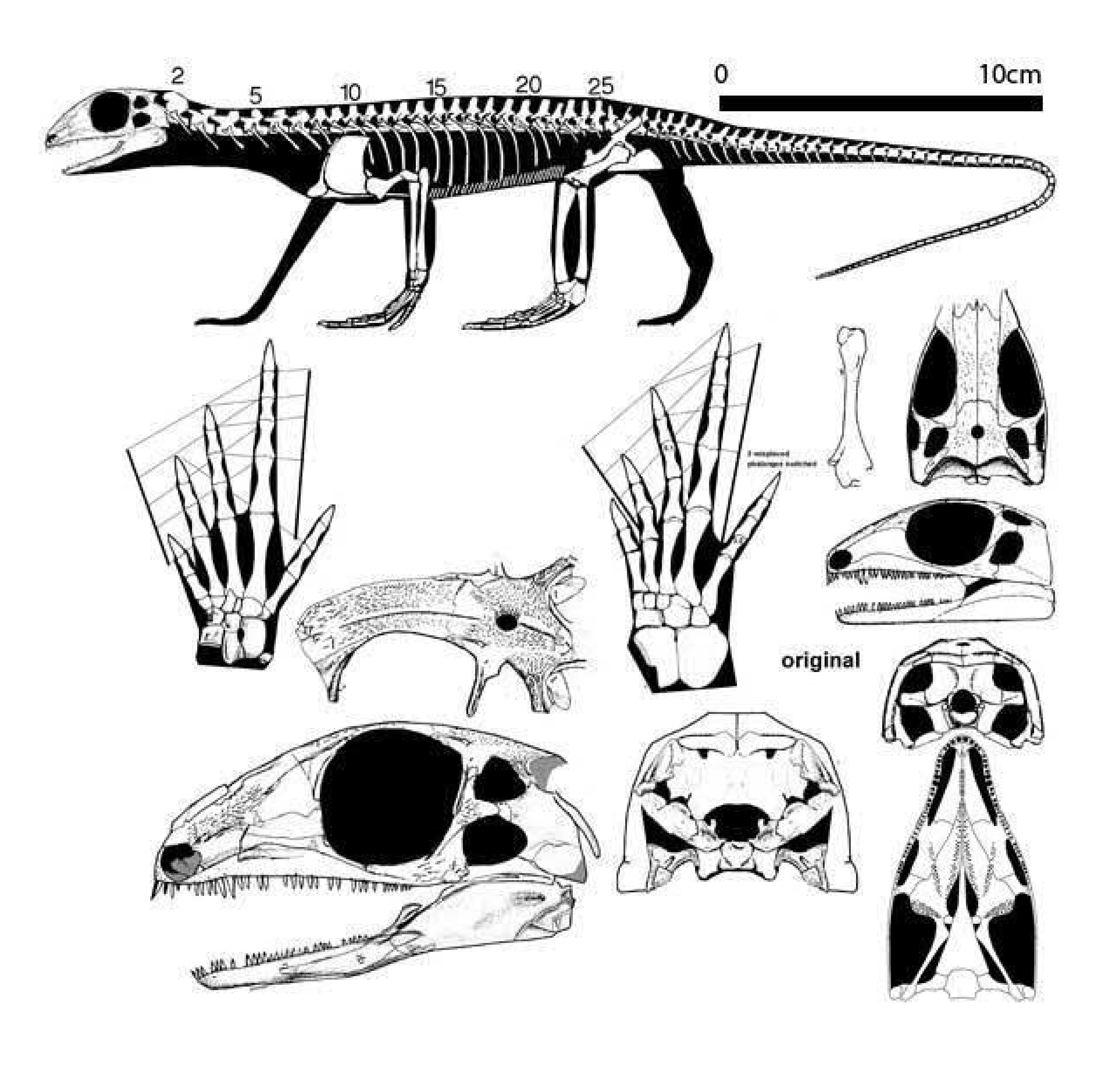
انتواع [أو تشعب] السلويات

صارت السلويّات الحيوانات الكبيرة الأحجام المهيمنة في كل البيئات البريّة في العصر البِرْميّ. لقد بدأ التشعب التطوري على الأرجح في قارة أورامِركا القديمة، لأنه لا تُعرف البتةَ أي فقاريّات بريّة من سيبيريا ولا شرقيّ آسيا ولا من كل قارة جُنْدوانا قبل العصر البرمي الأوسط. ربما منعَتْ البحار وسلاسل الجبال الهجرةَ البريّة؛ أو ربما بخلاف ذلك قصَرَت وقيَّدَت مشاكلُ تنظيمِ الحرارةِ الفقاريَّاتِ البريَّةَ بالمناطق الاستوائية في أورامِركا حتى العصر البرمي الأوسط. لقد حُقِّقَ غزوُ القارّات الأخرى و/ أو المناخات الأخرى عن طريق تطور رائع لأنماط وسِماتٍ جسدية عديدة. وبما أن السلويَّات وليس البرمائيَّات هي التي تشعَّبَتْ بنجاحٍ للغاية، فعلى الأرجح أن حلها لمشاكل تنظيم الحرارة هو ما مكَّنَها من استعمار مناطق في خطوط العرض الأعلى.

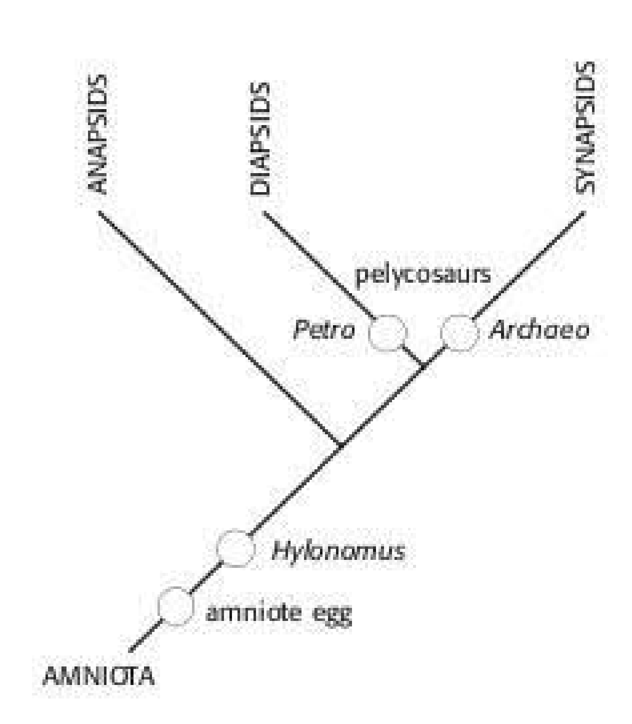
تشعبت ثلاث مجموعات رئيسية من السلويات في العصر الكربوني المتأخر والبرمي المبكر (الصورة ١٠– ١). امتلكت أبكر السلويّات جماجم عديمة الفتحات عند العظم السقفي أو الصدغ skulls anapsid (لا تمتلك فتحاتٍ خلف محجر العين) (الصورة ١٠– ٢ أ). لقد ورثت هذه الصفة عن الأسماك ورباعيات الأقدام المبكرة. أما الفرعان التطوريّان السلويّان الآخران الرئيسيّان فامتلك أعضاؤهما أنماط جماجم مشتقة الصفات ومتطورة، يوجد بها فتحة أو فتحتان كبيرتان صدغيتان خلف محجر العين. انتوعت وظهرت أولًا ذوات الفتحة التسقيفية الواحدة Synapsids (ذوات الفتحة الجمجمية الصدغية الواحدة خلف محجر العين، تعني بالجريكية مغلقة القوس الخيشومي) (الصورة ١٠– ٢ج)، من سلفٍ سلويٍّ عديم الفتحات الصدغية/ التسقيفية anapsid لم نتعرف عليه بعدُ. سادت ذوات الفتحة التسقيفية الواحدة على المستعمَرات الحيوانية البريَّة في دهر الحياة القديمة المتأخر. لقد تضمَّنَتْ البليكسورات Pelycosaurs في حقبة الحياة القديمة المتأخرة ومتحدراتها، ذوات الفتحة التسقيفية الواحدة الكبيرة therapsids والثدييات. لم تطور عديمات الفتحة الصدغية قط قدرة على حفظ الماء بحيث تُخرِج حمضًا بوليًّا uric بدلًا من اليوريا، وهي صفة تتشاركها كل مجموعات السلويات الأخرى الباقية على قيد الحياة (الصورة ١٠– ١).

أما ذوات الفتحتين الصدغيتين Diapsids فهي سلويات ذوات فتحتين جمجميتين خلف محجر كل عين (الصورة ١٠– ٢ب). وقد تضمنت المجموعات البريّة المهيمنة في دهر الحياة الوسيطة (بما في ذلك الديناصورات والزواحف الطائرة جناحية الإصبع) وكل السلويات الحية ما عدا الثدييات (الزواحف والطيور الحية). لا تمتلك السلاحف فتحات صدغية، لذلك فهي عديمة الفتحات الصدغية اصطلاحيًّا anapsid [من جهة المصطلَح]. لكن أسلافها كانت على الأرجح ذوات فتحتين صدغيتين diapsids والتي فقدتهما. لقد تطورت السلاحف في العصر الترياسي المتأخر من سلفٍ ذي فتحتين صدغيتين لم نتعرف عليه بعد.

إن أبكر ذي ثقبين صدغيين معروف هو Petrolacosaurus (الصورة ١٠– ٢)، والذي بدا وعلى الأرجح عاش مثل السحالي (لكن أيضًا كذلك بدت أوائل السلويّات، انظر الصورة ٩– ١٠). ومقارنةً مع ذوات الفتحتين الصدغيتين اللاحقات، فإن Petrolacosaurus امتلك عظامًا رِكابية ثقيلة في أذنه، والتي لم تستطع نقل الأصوات التي يحملها الهواء. وكما في معظم رباعيات الأقدام المبكرة، فعلى الأرجح نقلت العظام الركابية الأذنية الذبذات الأرضية عن طريق عظام الأطراف إلى الجمجمة.



Petrolacosaurus

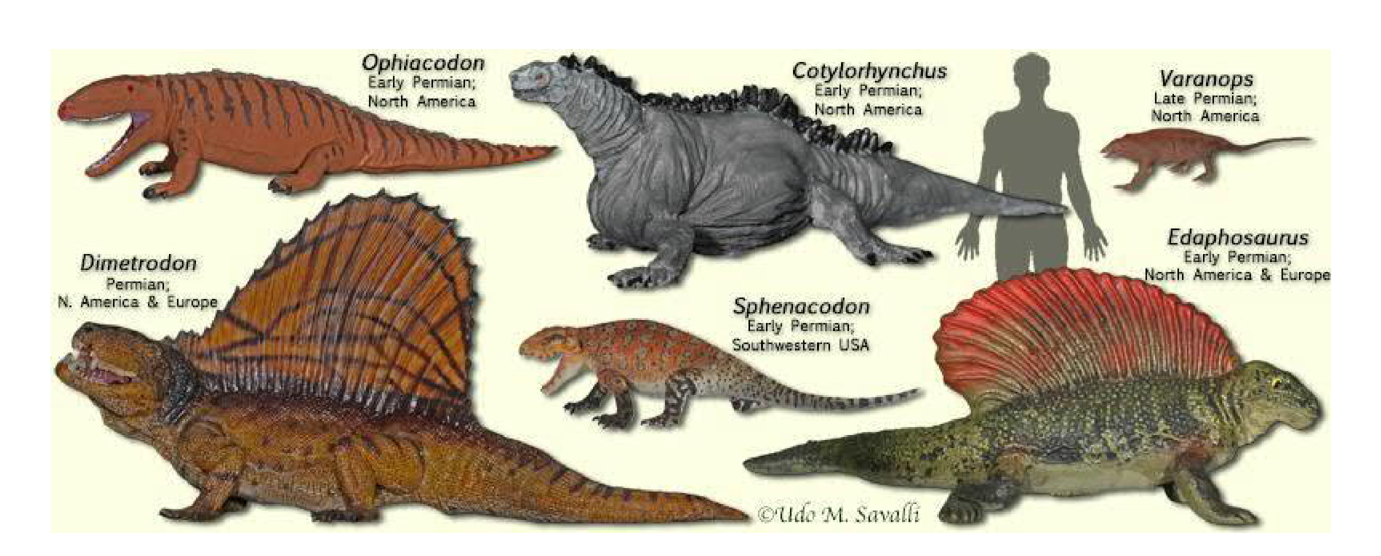


الشكل ١٠– ١ شجرة تطورية للسلويات المبكرة: من السلويات البدائية عديمة الفتحات الصدغية سرعان ما انتوعت سلالتان. إن أول سلوي موصوف جيدًا كان Hylonomus. و Petrolacosaurus كان أبكر ذا فتحتين صدغيتين معروف، و Archaeothyris كان أقدم أحادي الفتحة الصدغية معروف.

زواحف البليكوسورات Pelycosaurs (أبكر الزواحف البدائية ذوات الفتحة الصدغية الواحدة على كل جانب من الجمجمة)

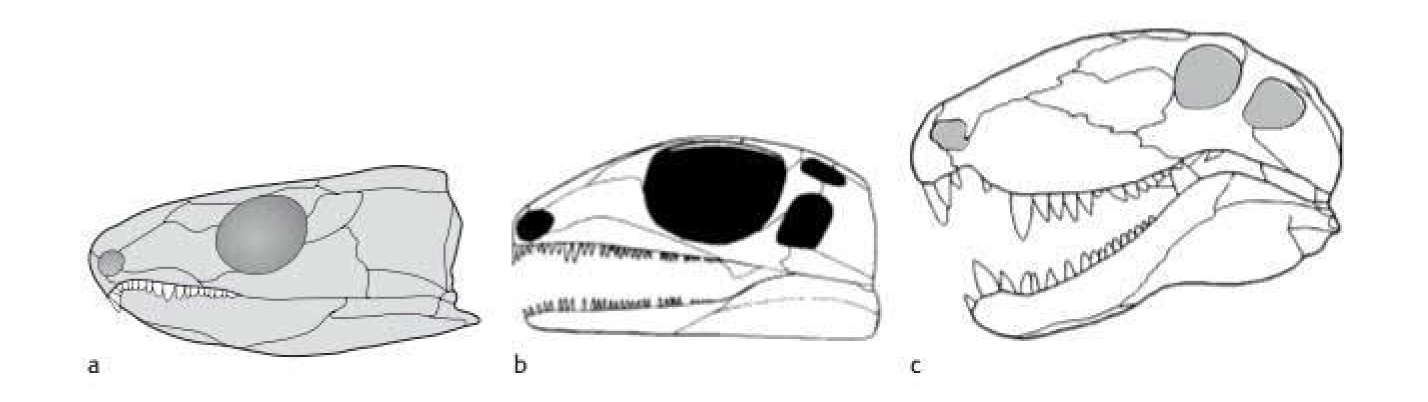
رغم أن أول زاحف ثنائي الفتحات الصدغية قد تطور في العصر الكربوني المتأخر، فإن التشعب الكبير لثنائيات الفتحات الصدغية حدث لاحقًا أكثر بكثير، في العصر الترياسي (انظر الفصل ١١). لقد كانت الزواحف السائدة في العصر الكربوني المتأخر والبِرْمي عديمة الفتحات الصدغية، تضمنت خمس أنواع سلوية بجوار ذي الفتحتين الصدغيتين.

تُصنَّف جميع عديمات الفتحات الصدغية المبكرة على أنها بليكوسورات، أشهرها هي الأشكال ذوات الفقرات الممتدة على شكل شراع على ظهرها مثل Dimetrodon دِيمِترودون [يعني اسمه ذو الأسنان مختلفة الأحجام] (الصورة ١٠- ٢ج). لقد كانت في ذلك الوقت أهم مجموعة من رباعيات الأقدام البرية بالكامل. أكثر من ٥٠% من سلويّات العصر الكربوني المتأخر كانت بليكوسورات، وأكثر من ٧٠% من سلويّات العصر البرمي المبكر. بعد ذلك بدأت في التدهور كما يبدو، لكنْ هذا فقط لأن أحد فروعها قد تطور ليصير أحاديات الفتحة الصدغية الزواحف الشبيهة بالثدييات therapsids المهيمِنة في العصر البرمي المتأخر. ورغم تنوعها، فإن البليكوسورات المبكرة نادرة. ربما تكون قد تطورت في البداية في مواطن أكثر جفافًا من التي تفضِّلها رباعيات الأقدام المبكرة [وبالتالي نادرًا ما حُفِظَت متحجراتها الأبكر]، ولاحقًا صارت أكثر وفرةً كمتحجراتٍ، وانتشرت على مدى واسع جغرافيًّا (الصورة ١٠ -٣).

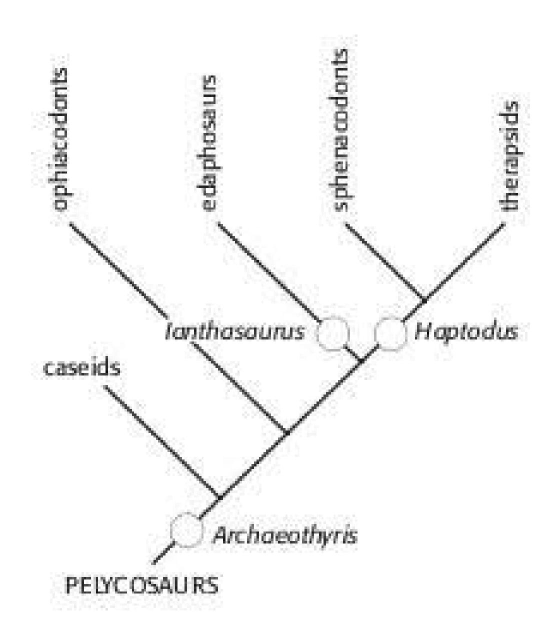


بعض أنواع البليكوسورات

إن Archaeothyris الذي وُجِدَ في جِذْل الأشجار المتحجرة في نوفًا سكوتيا في كَنَدا كان أحد أقدم البليكوسورات. لقد كان صغير الحجم، طوله كان حوالي ٥٠ سم بما في ذلك ذيله، وكان شبيهًا بالسحلية في مظهره العام، لكنه امتلك بنية الجمجمة المميَّزة الخاصة بأحاديات الفتحة الصدغية synapsids، حيث كان ذا فتحة مفردة وحدة خلف محجر العين بدلًا من الفتحتين الخاصتين بذوا الفتحتين الصدغيتين diapsids. وفرت حوافُّ هذه الفتحة ربطًا مُحْكَمًا لعضلات فكٍّ قوية.

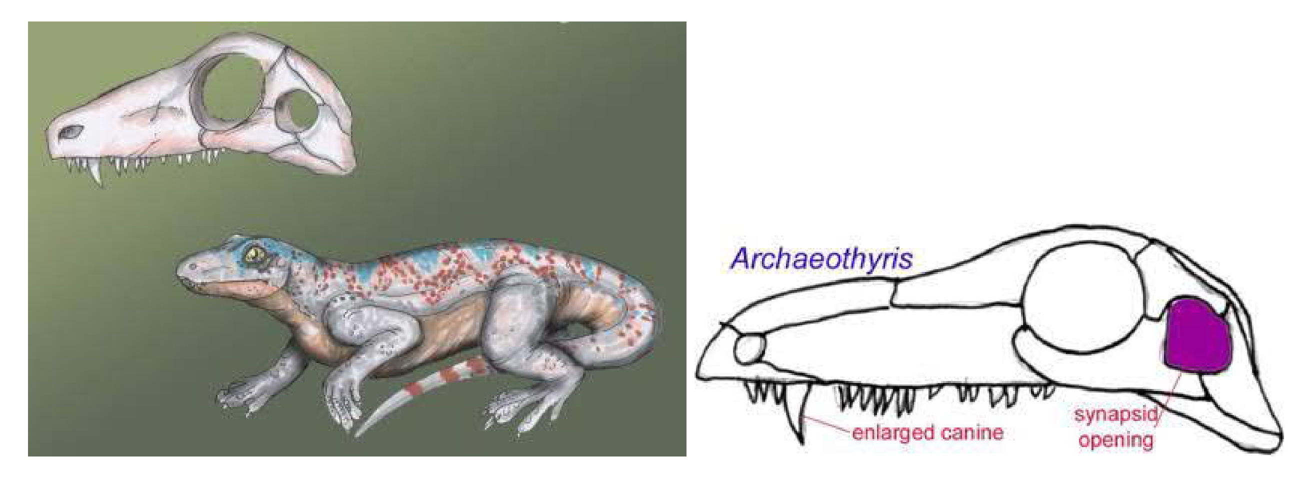


الصورة ١٠- ٢ ثلاثة أنماط مختلفة للجماجم في السلويات يحددها عدد الحفر في الجمجمة خلف محجر العين: (أ) عديمة الفتحات الصدغية ويمثله Captorhinus. (ب) ذو فتحتان صدغيتان ويمثله Petrolacosaurus. (ج) أحادي الفتحة الصدغية ويمثله Dimetrodon ديمتِرودون [ذو الأسنان مختلفة الأشكال والزعنفة أو الزائدة الظهرية".



الشكل ١٠ –٣ شجرة تطورية مبسطة لتطور البليكوسورات، تتضمن بعض أجناس البليكوسورات المذكورة في النص.

Archaeothyris أقدم بليكوسور أحادي الفتحة الصدغية، من ذوات الأسنان الثعبانية أحادية الفتحة الصدغية ophiacodontid synapsid، عاش في العصر الكربوني المتأخر، ويُعرف من متحجرة من نوفًا سكوتيا بكندا، ويؤرخ بـ ٣٠٦ مليون عام ماضٍ، ويعتبر هو و Echinerpeton الذي يُعرَف عنه أقل أقدم أحاديات الفتحة الصدغية المعروفة حتى الآن. وقد كان شبيهًا بسحلية معاصرة لكن بطول حوالي ٥٠ سم وكان من أكبر اللواحم التي ركضت في غابات العصر الكربوني وكان ذا فكين متطورين وأقوى من الزواحف المبكرة كالـ sauropsids المبكرة [sauropsids عظائيات الوجه أو ذوات وجوه السحالي، نوع من الزواحف البدائية، وهي وفق مفهوم الفروع التطورية الحديث تتضمن كل الطيور والزواحف الحية وكذلك أسلافها المتحجرة وأقارب تطوريين آخرين منقرضين] وكان يستطيع فتحهما أوسع منها، وكانت كل أسنانه الحادة لها نفس الشكل عدا نابين مستطالين.

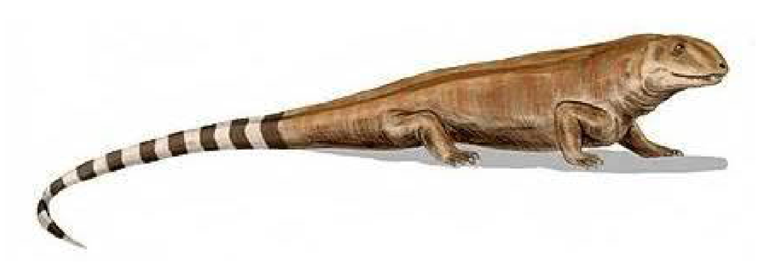


Archaeothyris

Haptodus [يعني اسمه ذو الأسنان الرقيقة]، نوع ذو أسنان وتدية مثبتة بعمق في الفك بدائي basal sphenacodont تغذى على الحشرات والفقاريات صغيرة الأحجام وكان طوله حوالي متر ونصف المتر، فهو مفترس متوسط الحجم، وعاش من العصر الكربوني المتأخر حتى العصر البرمي المبكر]







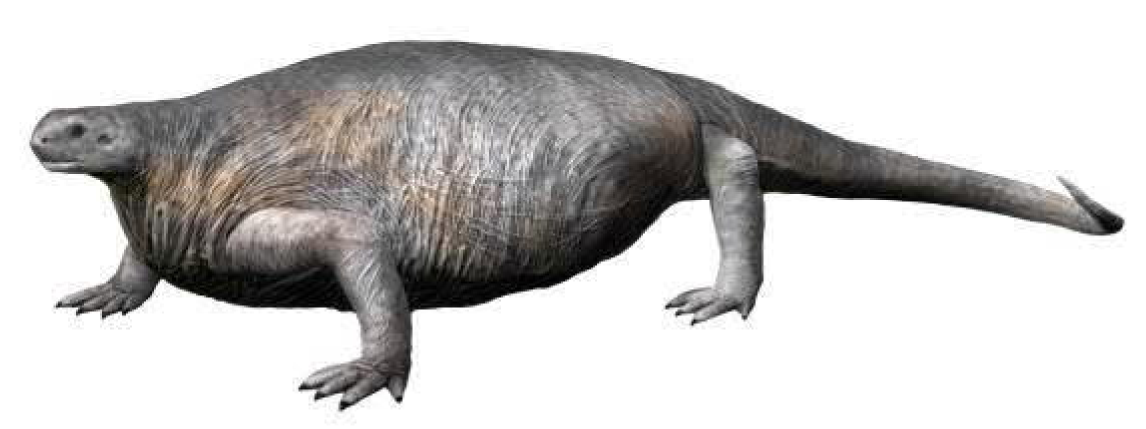
Dimetrodon ذو الأسنان متباينة الأحجام، ويصنف حسب بعض المراجع ضمن فصيلة وتديات الأسنان Sphenacodontidae، وتعتبر السمتان الرئيسيتان له هما عمود فقري ممتدة فقراته على شكل شراع على ظهره متشكل بفقرات مستطالة، وجمجمة مقوسة مع أسنان كبيرة مختلفة الأحجام، ويعتقد بالخطإ في الثقافة الشعبية أنه من الديناصورات وهو ليس منها، فقد انقرض قبل ظهورها بأربعين مليون سنة تقريبًا، ورغم مظهره وفسيولوجيته شبه الزاحفية فهو أقرب إلى الثدييات المعاصرة مما هو إلى الزواحف المعاصرة، رغم أنه ليس سلفًا للثدييات، وهو يُنسَب إلى "الثدييات المصنفة كذلك على أساس نقطة التفرع التطوري" أو "أحاديات الفتحة الصدغية غير الثديية" التي تسمَّى تقليديًا باسم "زواحف شبه ثديية"، هذا يضع ديميترودون مع الثدييات ضمن الفرع التطوري "أحاديات الفتحة الصدغية synapsids"

Sphenacodonts سفنكدونيات: ذوات الأسنان القوادم (الأمامية) الوتدية أو المثبتة في تجاويف عميقة، وهي سمة لم توجد في كل المجموعات الأقارب التطورية لها.

Caseidae أو Caseasauria [لم أعثر على معنى الاسم، هي برميليات الأجسام صغيرات الأدمغة] فصيلة منقرضة من وحيدات الفتحة الصدغية عاشت من العصر الكربوني حتى البرمي، كانت مجموعة من آكلات النباتات البدائية منتشرة على نحو واسع جدًا وكانت مائية على الأرجح، كانت ذوات رقبة قصيرة ورأس صغير بالنسبة للجسم، ذوات جسد ضخم برميلي الشكل، وأطراف ضخمة، واتسمت كل أنواعها رغم ضخامة معظمها بالحفاظ على هذا الشكل العجيب ذي المناسيب الجسدية الغريبة، وتراوح طول أنواعها ما بين المتر والنصف، والستة أمتار.







Cotylorhynchus من أنواع أو فصائل Caseasauria الكثيرة

Ianthasaurus [يعني اسمه زاحف نهر لانثا] زاحف من نوع edaphosaurid أو ophiacodonts، يعتبر أقل البليكوسورات المعروفة حجمًا بطول جسم ٧٥ سم وطول جمجمة ٨ سم، كانت أسنانه بسيطة أشبه بالسحالي آكلة الحشرات ورشيقًا خفيف بنية العظام.

Ophiacodon [يعني اسمه ذو الأسنان الثعبانية]، وهو أحد أقدم الزواحف ذوات الفتحة الواحدة وأكثرها بدائية وامتلك أطول جمجمة معروفة عند كل أحاديات الفتحة الصدغية المبكرة والتي وصلت إلى طول خمسين سم في أحد المتحجرات، وكانت أطرافه أكبر من الخاصة بمعظم رباعيات الأقدام في عصره فوصلت إلى طول يتروواح ما بين 1, 6 إلى ٣ أمتار.

Edaphosauridae إدافوسوريات [ذوات الأسنان الكثيرة]: جنس يعتبر أقدم سلوي نباتي معروف، بجوار جنس Diadectidae أقدم رباعي أقدام نباتي معروف، كان ضخمًا وصل طوله ٣ أمتار فما يزيد، واتسم بجسد برميلي ورأس صغير، وزعنفة ظهرية كالتي لـ Dimetrodon.

Varanosaurus [يعني اسمه سحلية الورل أو شبيه سحلية الورل لشبهه بها] جنس منقرض من البليكوسورات المبكرة كان صغير الحجم يصل طوله إلى ما بين المتر والمتر والنصف، وبجمجمة مسطحة مستطالة كان طولها حوالي ١٤ سم وخطم حاد الشكل مع أسنان حادة وسنين شبه نابيين مما يدل على أنه كان مفترسًا نشطًا [لم يكن يعتمد على الكمون بل على الحركة].

بيولوجية وإيكولُجَّية [طريقة اعتياش] زواحف البليكوسورات

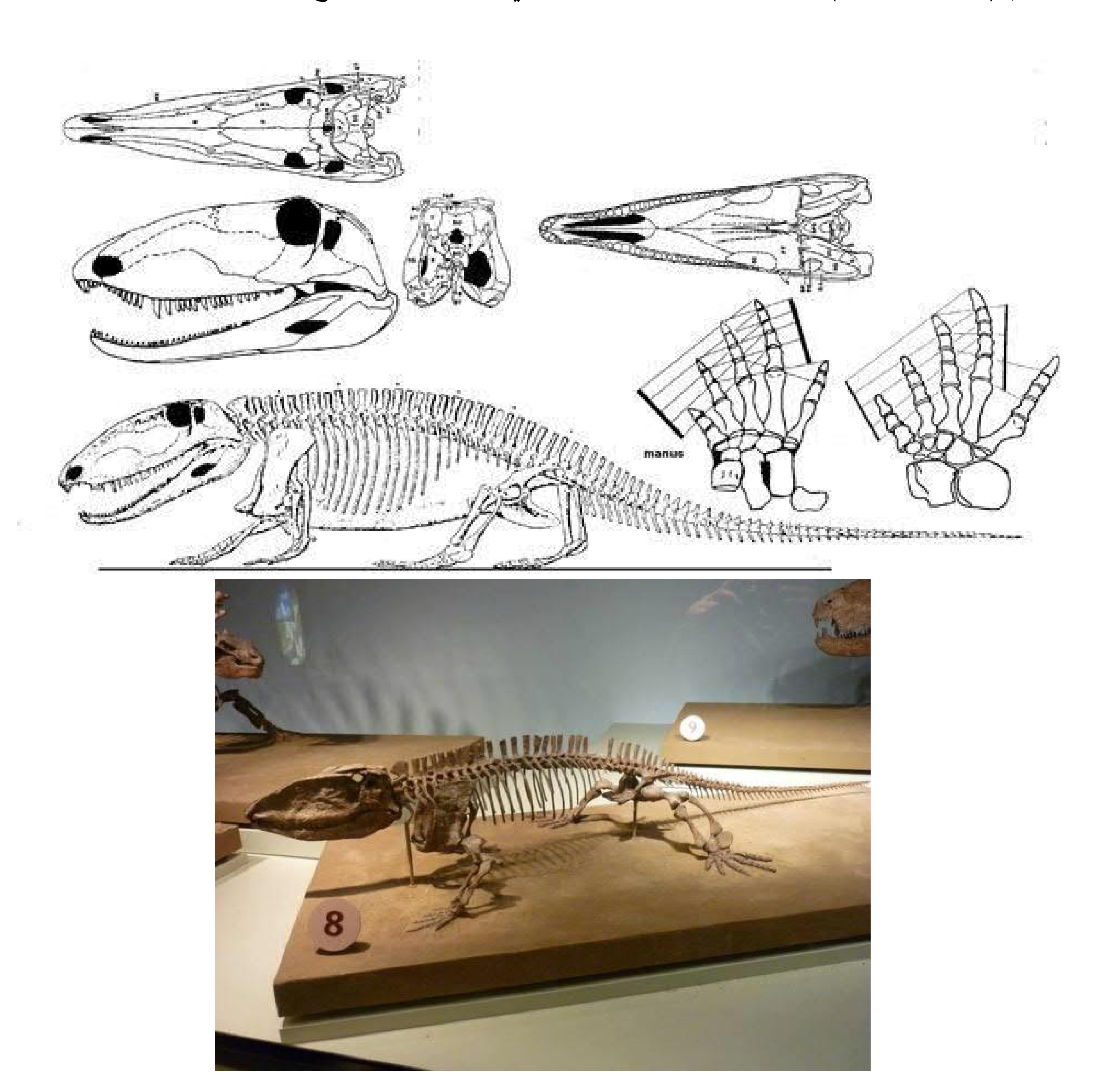
الحركة

البليكوسورات معروفة على نحو جيد لدرجة كافية لأن نعيد بناء كيفية مشيها. كان الجزء الأمامي الضخم من الجسد يدعمه طرفان ثقيلان مفرشحان. الطرفان الخلفيان الأخف وزنًا كان لهما مدى أوسع من الحركة، رغم أنهما كانا أيضًا طرفين مفرشحين متباعدين. لم يكن هناك مفصل كاحل واضح المعالم، وكانت أصابع الأقدام طويلة ومفلطحة جانبيًّا أثناء سير الحيوان. بالتالي، لم تقدم الأقدام دفعة إلى الأمام بل بوضوح دعمت الأطراف على الأرض. لقد كان الطرفان الأماميان دعامتين سلبيتين تمنعان الحيوان من السقوط على وجهه، بينما قدم الطرفان الخلفيان كل الدفع الأمامي في المشي بعضلات قوية أدارات عظم الفخذ في مفصل الورك.

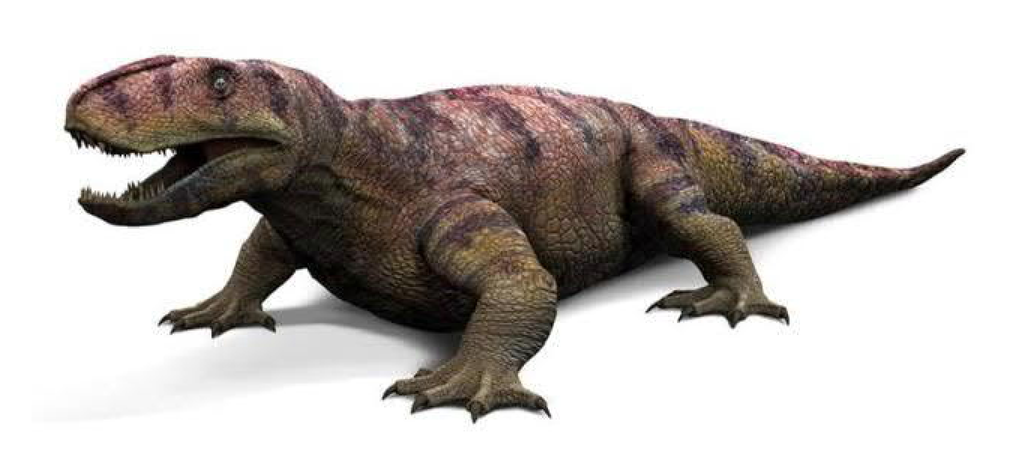
تصور طفلين يلعبان بعربة يد. إن الدفع والتوجيه كلاهما يأتيان من الخلف، وستكون عجلة اليد ثابتة فقط طالما الطفل القائد يظل ثابتًا. مرونة العمود الفقري هامة للكثير من الحيوانات السابحة، وخاصةً تلك التي تطارد الأسماكَ بنشاطٍ. لكنْ في البليكوسورات، مَنَعَ عمودٌ فقري قوي صلب الجسد من الانهيار في الوسط تحت ثقل وزنه نفسه وسمح للدفع من خلال الطرفين الخلفيين بأن يتحول مباشرةً إلى حركةٍ إلى الأمام. لذلك كانت معظم البليكوسورات حيوانات برية على نحوٍ سائد مهيمن. وإن سبح بعضها، فإنا كانت سابحات تصطاد بالمخاتلة والتسلل بدلًا من السرعة. نوع واحد فقط من البليكوسورات هي الڤارانوسورات Varanosaurus امتلكت بالفعل عمودًا فقريًّا مرنًا، وربما كانت على الأغلب مائية في حياتها بالكامل.

البليكوسورات اللاحمة المفترِسة

كانت كل البليكوسورات المبكرة لواحم مفترِسات؛ حيث كانت كلها تمتلك الأسنان المدبَّبة والفكوك الطويلة الخاصة بالمفترِسات. لقد ظلت مجموعان مفترِساتٍ كلها. أولها كانت Ophiacodonts or Ophiacodontidae [يعني اسمها ثعبانية شكل الأسنان] وتضمنت أول بليكوسور صغير الحجم وهو Archaeothyris من نوڤا سكوتيا الكندية، لكن الأشكال اللاحقة صارت كبيرة الأحجام حقًّا. إن النوع Ophiacodon نفسه [الذي منح الاسم لهذه الفصيلة] كان طوله ٣ أمتار (١٠ أقدام) ووزن على الأرجح ما يفوق المئة كجم (٤٥٠ رطلًا). الكثير من Ophiacodonts [ثعبانيات شكل الأسنان] امتلكت فكوكًا طويلة الخطوم (الصورة ١٠– ٤)، ذوات أسنان كثيرة موضوعة في جمجمة ضيقة. نزع الطرفان الخلفيان لأن يكونا أطول من الأماميين.

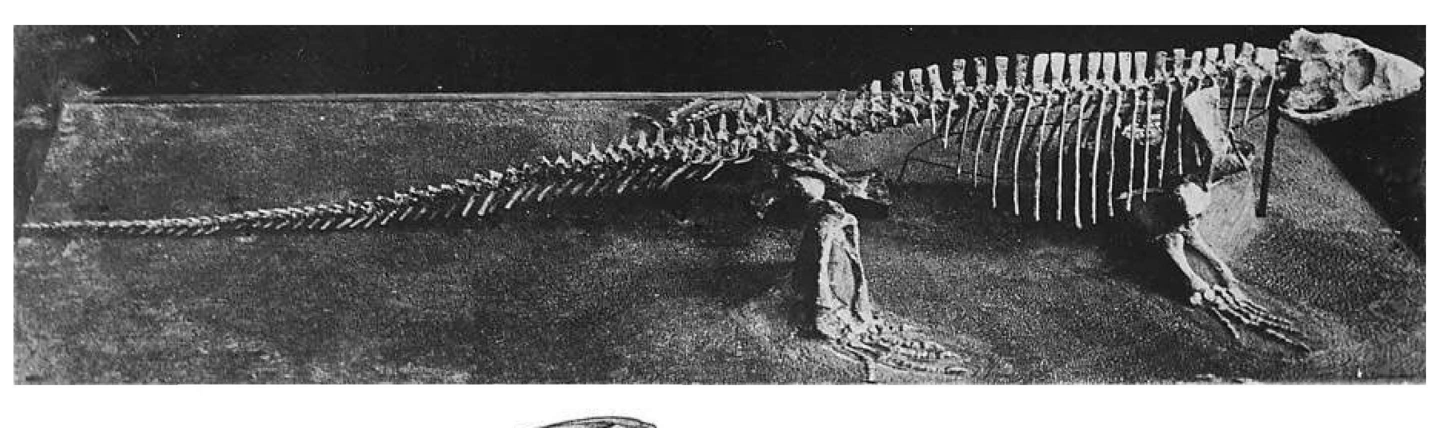


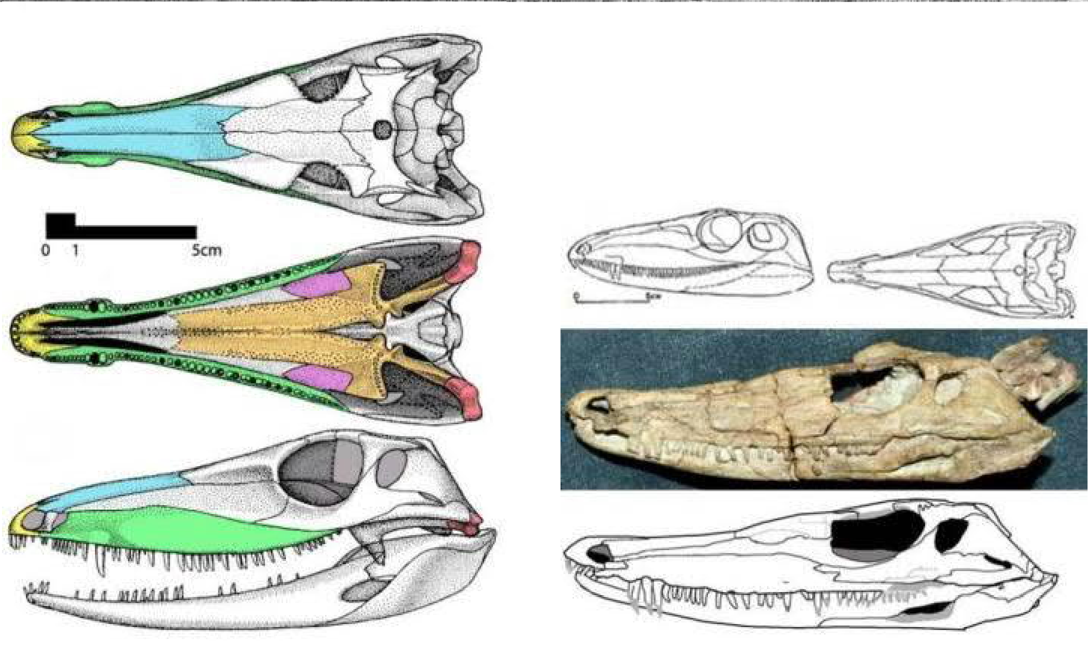


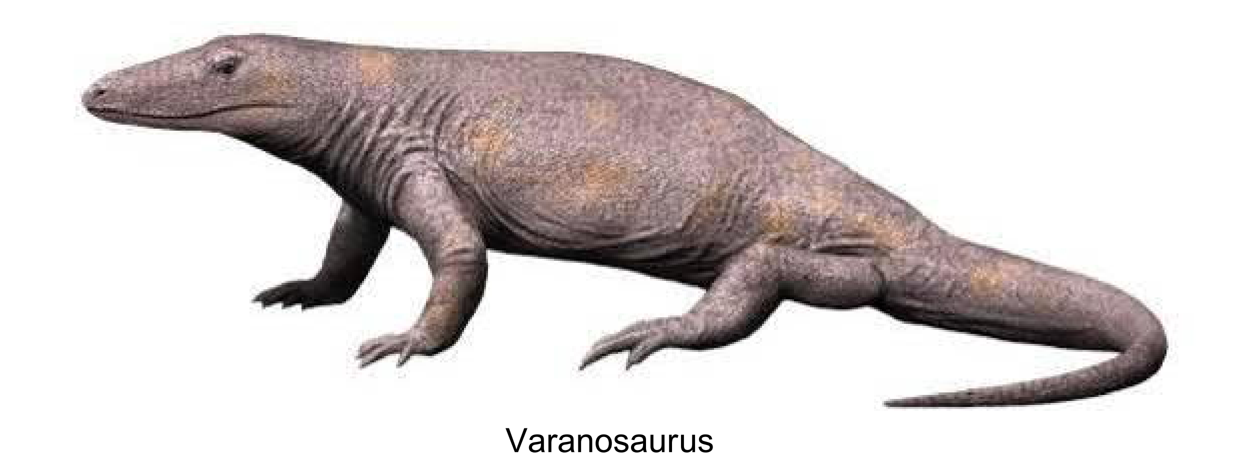


الصورة ١٠- ٤ جمجمة البليكوسور ذي حجم التمساح المسمى بـOphiacodon أو ثعباني شكل الأسنان، وهي عندما ننظر لها من الأعلى نرى أنها طويلة ومدببة، كما في الكثير من الحيوانات آكلة الأسماك.

ربما اصطادت الـ Ophiacodonts [الأُفْياكودونات أو ذوات الأسنان ثعبانية الشكل] الأسماك في الجداول والبحيرات والبرك والدلتاوات في العصرين الكربوني المتأخر والبرمي، رغم أنها كانت قادرة بشكل كامل على المشي على الأرض الأكثر جفافًا وارتفاعًا، وكالتماسيح ربما تضمنت فرائسُها حيواناتٍ برية تنزل إلى الماء لتشرب. وقد يقترح افتقادها العام لمرونة العمود الفقري (ما عدا النوع Varanosaurus) أنها كانت سابحاتٍ بطيئة، ربما كانت تأكل رباعيات أقدام أكثر من الأسماك.





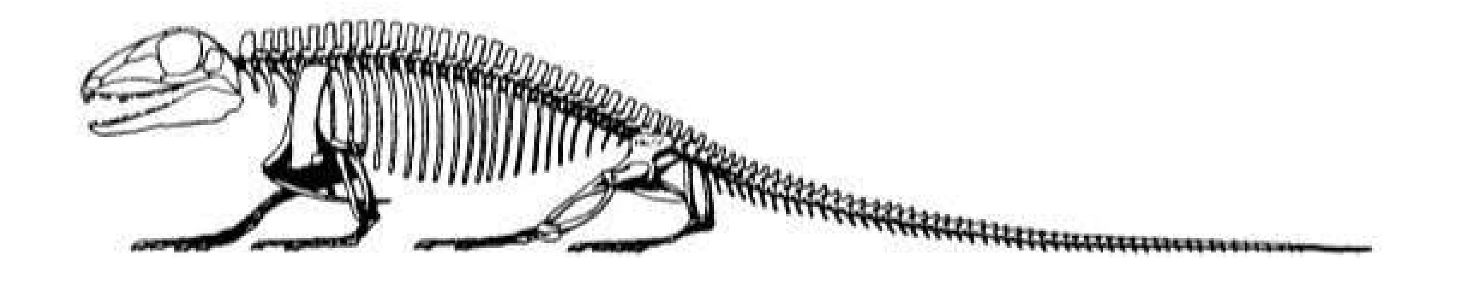


Varanosaurus

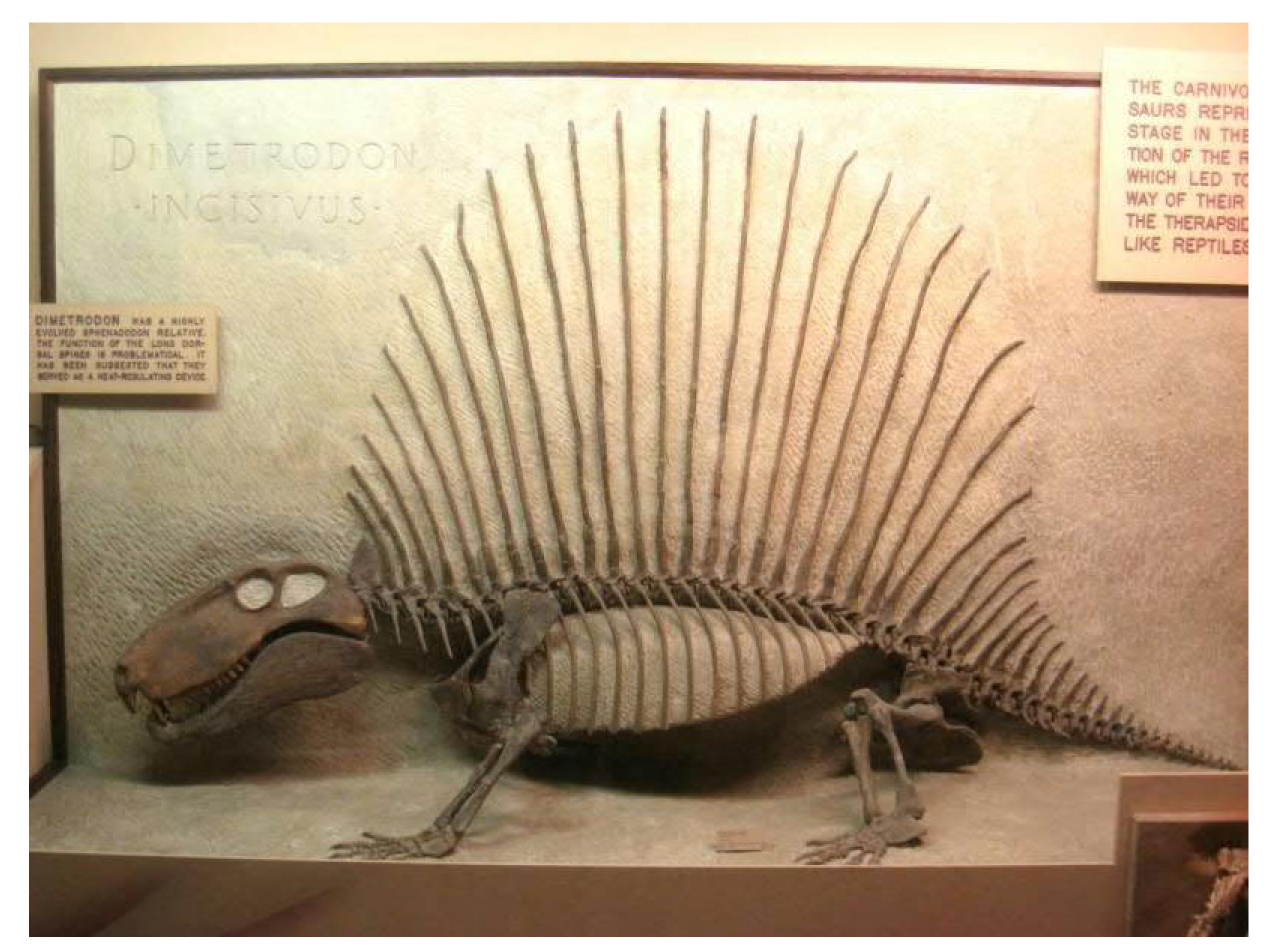
أما الـ Sphenacodonts [السفنكدونيات أو ذوات الأسنان الأمامية المثبتة في تجاويف عميقة كالأوتاد، ذوات الأسنان الوتديَّة] وهي المجموعة الثانية فكانت مفترِسات متخصِّصة على البرِّ. تكشف الكثير من سمات جماجمها عن وجود عضلات فكية قوية جدًّا، وكانت الأسنان قوية جدًّا. وكانت مختلفة عن الأسنان النمطية للسلويات المبكرة في كونها كانت متنوعة الأشكال والأحجام وتتضمن أسنانًا حادة طاعنة طويلة تبدو مثل أنياب الثدييات. كانت أجساد ذوات الأسنان الوتدية نحيلة لكنها عميقة، وكانت أرجلها طويلة نسبيًا. تقترح كل هذه الصفات أنها كانت قادرة على التحرك بشكل معقول على البر.

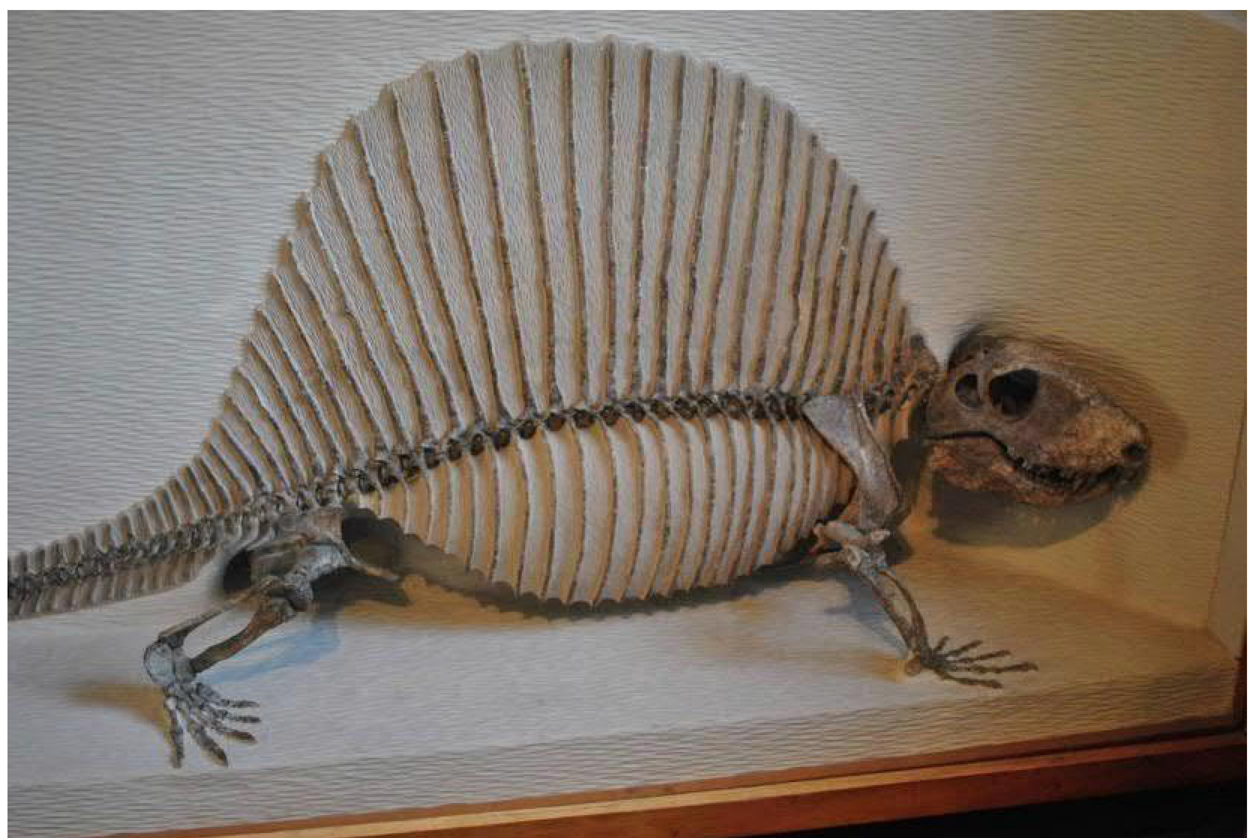
كان أبكر وتديات الأسنان هو Haptodus [يعني اسمه ذو الأسنان "الرقيقة"] (الصور ١٠- ٣ و١٠- ٥). لقد كان طوله أقل بقليل من متر وكان خفيف البُنية جدًّا. وقد وُجِدَتْ أشكالٌ مشابهة طوال العصر البِرْمي، لكن وتديات الأسنان اللاحقة زمنيًّا كانت أكبر حجمًا بكثير. إن تلك المجموعة مشهورة بسبب المتحجرات الرائعة المشهدية للديمِترودون [Dimetrodon ويعني اسمه ذو الأسنان المختلفة الأشكال والأحجام] (الصورة ١٠- ٦). امتلك الديمِترودون فقرات عمود فقري ممتدة على شكل اشواك بارزة أعلى بكثير فوق العمود الفقري. (سوف أبحث في هذه البنيوات لاحقًا).

عكس التطور في البليكوسورات اللاحمة المفترِسة قدرتها على الإمساك بالفرائس. أغلق الفكان بقوة حول المفصل، بدون حركات للجانبين ولا حركة من الأمام إلى الخلف للمضغ. بهذه البنية، فإن فكًّا أطول يجعل الإمساك بالفريسة أسهل، لكن القوة المبذولة من المفصل من بعيد لم تكن قوية جدًّا. كان يمكن قتل الفريسة الصغيرة فورًا بغلق الفك بقوة عليها.



الصورة ١٠- ٦ Haptodus، أقدم وتدي أسنان معروف، كان طوله أقل بقليل من المتر (٣ أقدام).


DIMETRODON
·INCISIVUS·
DIMETRODON

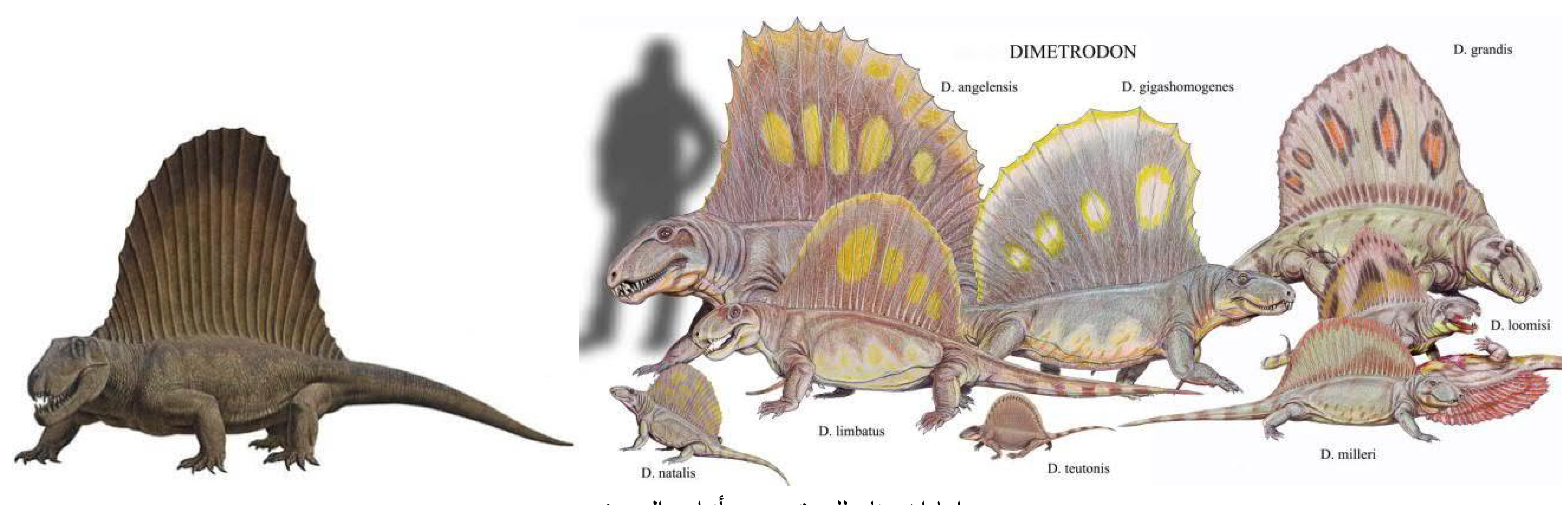



©2012 Jack the Lizard





الصورة ١٠– ٦ الهيكل العظمي الخاص بأشهر زاحف أحادي الفتحة الصدغية من العصر البرمي وهو الديمِترودون، وهو بليكوسور مفترس لاحم ذي فقرات ممتدة شكلت "شراعًا" فوق ظهره.



إعادات بناء للديمِترودون بأنواعه العديدة.

في ذوات الأسنان الثعبانية الشكل ophiacodonts، والتي ربما تكون قد اصطادت الأسماك في الماء، كان أصعب جزء في التغذية هو الإمساك بالفريسة؛ فقد كانت أسنانها شبه متساوية الأطوال في فك طويل ضيق. معظم آكلات الأسماك تبتلع فرائسها كاملةً.

في وتديات الأسنان sphenacodonts، والتي كانت لواحم بريّة، كان الرأس أكبر وأقوى. وكانت أسنانٌ طويلة حادة متموضعة في مقدمة الفك (الصورة ١٠– ٢ج). كان يمكن الإمساك بالفريسة المقاوِمة بين اللسان وبعض الأسنان القوية المتموضعة في الحنك [سقف الحلق]، وكان يمكن إخمادها [قتلها] بعضات ساحقة قوية من الأسنان التي في مؤخرة الفك. اقترح Robert Carroll أن نجاحَ البليكوسورات في العصرين الكربوني والبرمي _مقارنةً مع ذوات الثقبين الصدغيين diapsids_ كان بسبب عضلاتها الفكيَّة الضخمة، والتي كانت قوية على نحو كافٍ لتثبيت الفكين في مواجهة مقاوَمات الفرائس الكبيرة الأحجام. لذلك استطاعت البليكوسورات المفترِسة اللاحمة أن تصير مفترساتٍ كبيرة الأحجام، وليس مجرد آكلات حشرات صغيرة الأحجام.

البليكوسورات النباتية

لا يمكن أن يكون اقتراح Carroll هو كل القصة، إذْ قد كانت هناك بليكوسورات نباتية أيضًا. لقد كانت الـ Caseids [برميليات الأجساد] و الـ edaphosaurs [كثيرات الأسنان] أول حيوانات برية كبيرة الأحجام وفيرة الأعداد، وكانت ضمن أول آكلات النباتات البريّة. امتلكت برميليات الأجساد وكثيرات الأسنان أنماطًا جسدية متشابهة، ربما لأنهما كانا متشابهين في الإيكولُجيَّة [طرق الاعتياش]. لقد امتلكت نفس مدى أحجام الأجساد المماثل لما عند وتديات الأسنان sphenacodonts المفترِسة، لكنها امتلكت رؤوسًا أصغر وأقصر منحتها ضغط أسنان أكثر قدرةً على السحق. لم يكن لديها أنياب طويلة، وكانت الأسنان قصيرة ثلماء ثقيلة. بالإضافة إلى ذلك، فإن ليونة للعظام عند مفصل الفك مكَّنَتْ الفكَّ السفلي من التحرك إلى الخلف والأمام قليلًا، طاحنًا الطعام فيما بين الأسنان العلوية والسفلية. طحنت التشيزيات أو برميليات الأجساد Caseids طعامَها بين اللسان والأسنان الحنكية، بينما امتلكت كثيراتُ الأسنانِ edaphosaurs صفائحَ سنيَّةً إضافيّة في فكها السفلي والتي استعملتها لطحن الطعام على الأسنان الحنكية. النباتات طعام منخفض

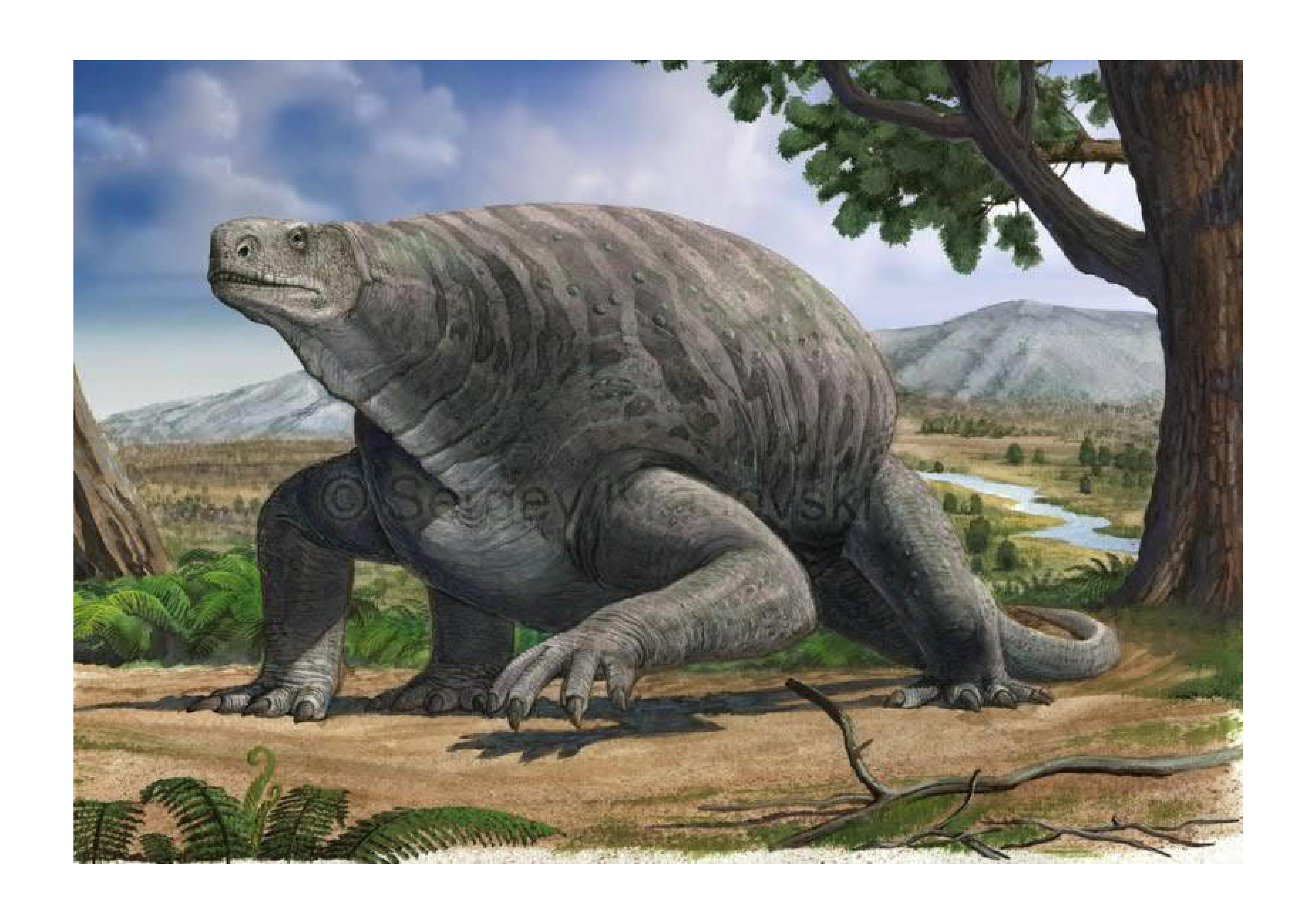
السعرات الحرارية مقارنةً مع اللحم، لذلك تحتاج آكلات النباتات معدةً كبيرة لتحوي الكثير من الطعام. وكما كان المرء ليتوقع، كانت أجساد كل تلك البليكوسورات النباتية عريضة لتتلاءم مع معدة كبيرة الحجم. وكانت عظام الأطراف قصيرة لكنها ثقيلة.

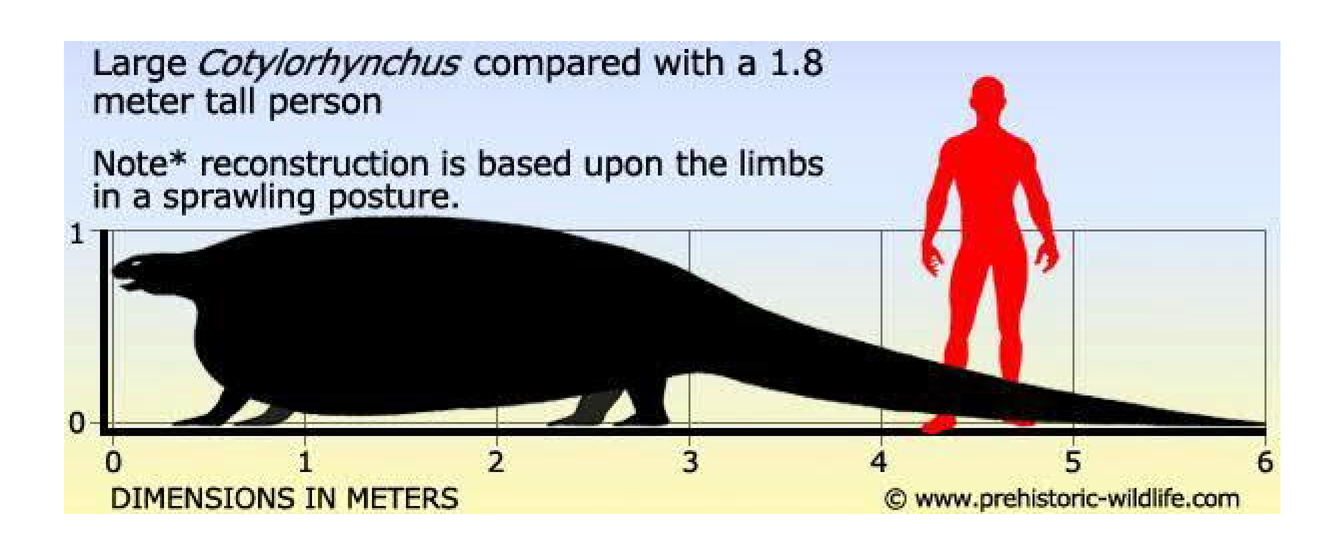
كانت التشيزيات أو برميليات الأجساد Caseids أكثر تنوعًا ووفرةً من كثيرات الأسنان edaphosaurs. وقد تضمنت Cotylorhynchus [يعني اسمه ذو الخطم الكوبي الشكل أو الأنف الأجوف]، الذي كان طوله يفوق الثلاثة أمتار (١٠ أقدام) ووزن أكثر من ٣٠٠ كجم (٦٥٠ رطلًا) (الصورة ١٠– ٧). كان لبرميليات الأجساد رؤوس صغيرة الأحجام مقارنةً بأحجام أجسادها، مما قد يدل ضمنيًّا على أنها لم تكن تمضغ كثيرًا جدًّا، ربما امتلكت إنزيماتٍ هضمية قوية أو بكتيريا معوية للمساعدة على تفكيك سليلوز النبات.

أما كثيرات الأسنان Edaphosaurs فمشهورة بسبب Edaphosaurus نفسه الذي منح الفصيلة اسمه، والذي امتلك فقرات ممتدة إلى الخارج كأشواك شبيهة حقًّا بالخاصة بديمِترودون Dimetrodon. رغم ذلك، فإن أبكر كثيرات الأسنان وهو النوع Ianthasaurus [يعني اسمه زاحف نهر لانثا] لم يكن نباتيا بل لاحمًا صغيرًا وُجِد في Garnett في كنساس Kansas. لقد امتلك شراعًا صغيرًا على ظهره، وأسنانًا افتراسية حادة مدببة، وقد أكل الحشراتِ على الأرجح. نجد بليكوسورات نباتية فقط في العصر البرمي المبكر، ولا بد أنها قد طورت أكل النباتات كطريقة اعتياش إيكولُجيّة جديدة. سوف نجد النوع الانتقاليَّ من كثيرات الأسنان يومًا ما، وربما سيرينا كيف تطور التغذي على النباتات في تلك الأحاديات الثقب الصدغي المبكرة. وحتى ذلك الوقت فإننا نستطيع القيام ببعض التخمينات فقط.

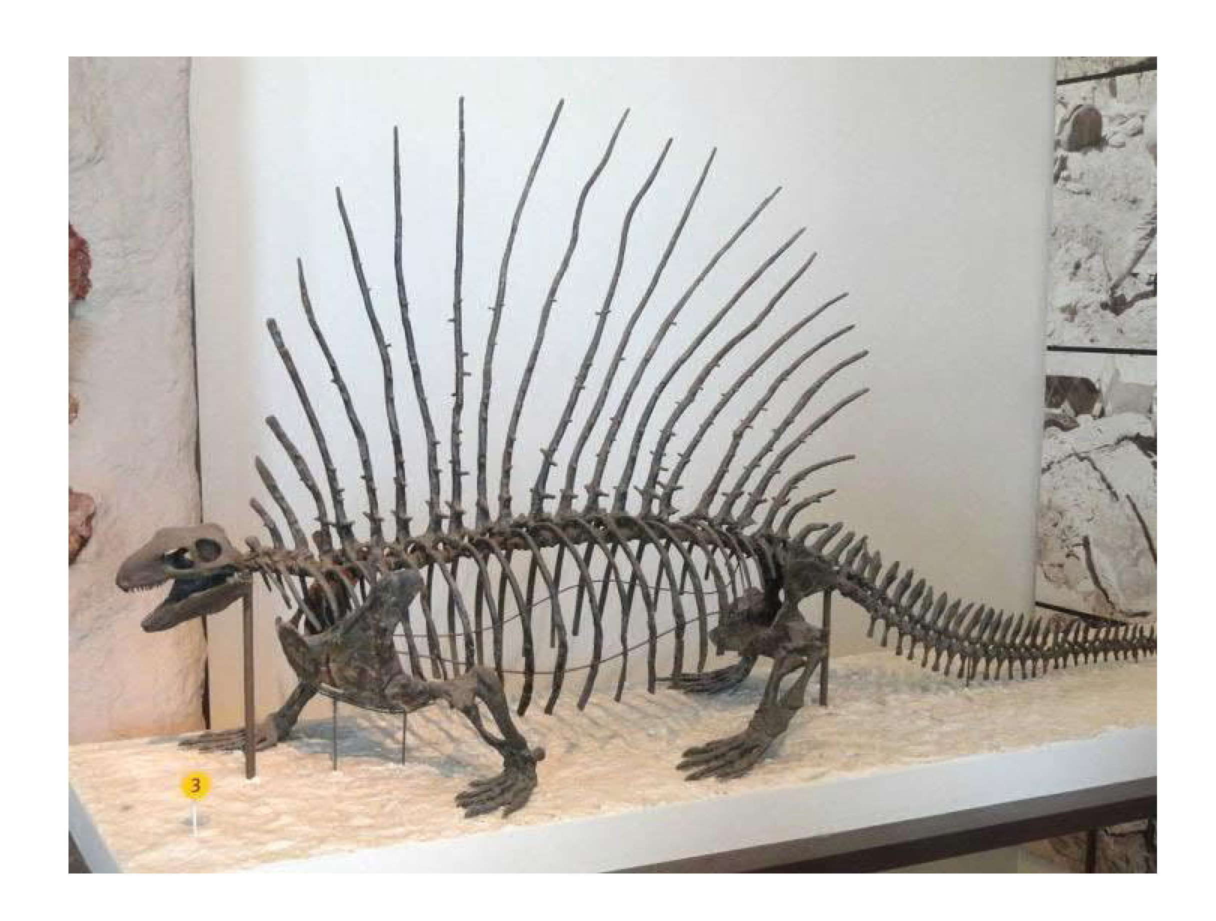


الصورة ١٠– ٧ جمجمة بليكوسور نباتي نمطي هو Cotylorhynchus [يعني اسمه ذو الخطم الكوبي الشكل]. الأسنان أحد مما قد يتوقع المرءُ، مما يقترح أن الطعام كان يُنقَع في المعدة أو الحوصلة [القانصة]، وليس يمضغ في الفم. ويتماشى مع هذا الرأي أن الجمجمة كانت صغيرة بالنسبة لحجم الجسم، فطولها حوالي ٢٠ سم فقط (٨ بوصات). كان المنخاران كبيرين جدًّا، ويستطيع المرء أن يخمن أسباب ذلك.





Cotylorhynchus [ذو الخطم كوبي الشكل]



الصورة ١٠- ٨ Edaphosaurus، ويعني اسمه كثير الأسنان، وهو بليكوسور نباتي طور [تطور فيه] على نحو مستقل شراع منظم لدرجة حرارة الجسم مشابه للخاص بديمِترودون Dimetrodon. كان طول كامل الجسد مع الذيل 5 ,3 متر تقريبًا.

كيف نشأ وتطور التغذي على النباتات في رباعيات الأقدام؟

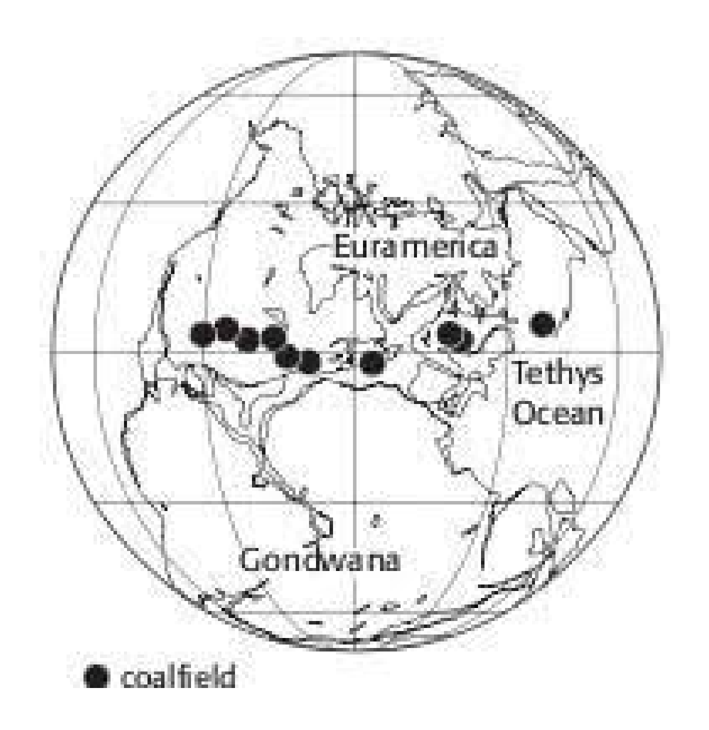
معظم المواد النباتية صعبة الهضم. تستطيع الفقاريات تفكيك السليلوز فقط إن مضغته جيدًا وكان لديها طريقة ما لتجنيد بكتيريا مخمِّرة كمتعايشة داخل الجسم تكافليًّا (راجع الفصل الثالث) لتساعدها على الهضم. تقوم آكلات النباتات الحية المعاصرة بذلك؛ فالماشية والكثير من المرتعيات لديها بكتيريا في حجيرة أو حيز معوي يُدعَى الكرش، لذلك فهي تدعى بذوات الكرش أو المجترَّات. وتمتلك الأحصنة والأرانب بكتيريا معوية أسفل في المسار الهضمي. يجب على أي فقاري يبدأ في أكل المواد النباتية القليلة البروتينات نسبيًّا وبالمقارنة أن يعالِج كميات ضخمة منها، وبالتالي يجب أن يمتلك سعة استيعاب كبيرة للطعام في جسد كبير الحجم إلى حد ما. إن بعض المواد النباتية غنية بالبروتين أو السكر، وخاصة الأجزاء التكاثرية، لكنْ فقط حيوان صغير يستطيع أن يتغذى بانتقاء أجزاء نباتية.

بعبارة أخرى، هناك سبيلان تطوريان ممكنان فقط نحو التغذي على النباتات. الأول منهما يبدأ بحيانات صغيرة الأحجام نشيطة انتقائية في جمعها لطعامها، بالتالي تجمع الأغذية العالية السعرات الحرارية مثل العصارات والرحيق وحبوب اللقاح [الطَلْع] والفواكه والبذور من النبات. الأمثلة المعاصرة لذلك هي الثدييات صغيرة الأحجام والطيور الطنّانة والحشرات. رغم ذلك، فإنْ جنَّدَ حيوانٌ بكتيريا معويّة كمتعايشة تكافليًّا داخليًّا فسيمكن أن يحتوي نظامه الغذائي على سليلوز أكثر فأكثر وسيمكن أن يتطور إلى نباتي أكبر حجمًا، كما في الكثير من مجموعات الثدييات، بما فيها القرود آكلة أوراق الشجر والجورِلات [الغوريلات]. تستطيع الطيور الضخمة أيضًا أن تكون نباتية، إن طيور الموا moas النيوزلندية المنقرضة كانت مثالًا جيدًا على ذلك.

المسار التطوري الآخر يبدأ بجسد كبير الحجم مع تغذية سريعة وعديمة الانتقائية، ربما قارتيَّة [تغذٍّ على المواد الحيوانية والنباتية معًا]، بحيث يمكن معالجة كم ضخم من من الطعام منخفض السعرات الحرارية. الثدييات شبيهة الدببة هي مثال جيد على مجموعة تطور فيها بعض الأعضاء بعيدًا عن أسلوب الحياة الافتراسي باتجاه القارتية [شمول النظام الغذائي المواد الحيوانية والنباتية معًا] ثم إلى نظام غذائي نباتي بالكامل، كما في حيوانات الباندا. لاحقًا، عندما يتطور مضغ وأنظمة هضمية أكثر فعالية تستطيع آكلات النباتات العيشَ بحجم متوسط للجسد.

ولأن التغذي على النباتات [أو النباتية أو أكل النباتات] يعتمد كثيرًا للغاية على حجم الجسد، فيجب أن تتغير الأنظمة الغذائية مع النمو. تغير معظم الزواحف والبرمائيات الحية المعاصرة أنظمتها الغذائية أثناء نموها. تتغير متطلَّبات وفرص الغذاء عندما تصل إلى حجم أكبر وتستطيع اصطياد مجموعة مختلفة من الفرائس. وضمن الزواحف الحية، تكون سحالي الإجوانا الصغيرة والفتيَّة لاحمةً أو قارتة [تأكل المواد الحيوانية والنباتية معًا]، بينما تكون الإجوانات الكبيرة نباتية إلى حد كبير لكنها تتناول اللحمَ من آنٍ إلى آخرَ. كل البرمائيات الحية تقريبًا في العصر الحالي صغيرة ولاحمة [مفترِسة]. أقترح أن أكل النباتات تطور ضمن رباعيات الأقدام في دهر الحياة القديمة المتأخر فقط بعد أن تطورت إلى أحجام أجساد كبيرة.

تحتوي حقول الفحم الضخمة من العصر الكربوني (راجع الفصل التاسع) على تسلسلات [أو تعاقبات] صخرية تتألف فيها الكثير من الطبقات بكاملها تقريبًا من كربون تكوَّنَ من تراكمات مخلفات نباتية مثل أوراق النباتات والجذوع والجذور والأبواغ وحبوب الطلع، بالإضافة إلى شظايا نصف متعفنة وغير ممكن تمييزها. شكلت حقول الفحم الخاصة بنصف الكرةِ الشمالي _وخاصة التي توجد في صخور العصر الكربوني المتأخر (البِنْسِلڤانيّ)_ أساس الطاقة للثورة الصناعية في أورُبا الغربية وأمِرِكا الشمالية [الولايات المتحدة الأمِركية] ولا تزال تقدم كمياتٍ كبيرة من الوقود للكثير من الدول الصناعية (الصورة ١٠ –٩). لقد دُرِسَت حقول الفحم الخاصة بالعصر الكربوني على نحو مركَّز للغاية لدرجة أننا نسطيع إعادة بناء وتصور مستعمَراتها النباتية على نحو جيد جدًّا؛ نستطيع أن نعرف _كمثال_ أن النباتات [البرية] انتشرت من عند ضفاف الأنهار والبحيرات إلى ما يُسمَّى بالأراضي المرتفعة أو النجود، ربما ليس عاليًا جدًّا فوق مستوى سطح البحر لكن في بيئة ذات هواء وتربة أجف مما حول البرك من أراضٍ منخفضة.



الصورة ١٠– ٩ الجغرافيا القديمة لغابات العصر الكربوني، والتي تكونت في الغابات الاستوائية المليئة بالمستنقعات. تمثل كل دائرة سوداء غابة كربونية كبيرة والتي آلت إلى حقل فحم يُستَغَل في العصر الحالي.

قدمت مستعمَرات الحياة النباتية الغنية أساسًا غذائيًا للحشرات في البدء، أما آكلات النباتات البرية الكبيرة فظهرت في العصر الكربوني المتأخر والعصر البِرْمي المبكر في قارة أورامِرِكا. وقد وصل طول الـ Diadectes [ذوات الأرجل القوية الشبه زاحفية] ذوات الصفات شبه الزاحفية [من فصيلة anthracosaur، رباعيات أقدام ذوات صفات شبه زاحفية] إلى طول حوالي ٤ أمتار (١٣ قدمًا) كحجم للبالغين، وكانت الزواحف أحادية الفتحة الصدغيّة synapsids ذوات الحجم المماثل شائعةً. وظهرت آكلات النباتات الكبيرة الأحجام في نفس وقت حدوث تغير كبير في النباتات البريّة، عندما حلَّت نباتات الأماكن المرتفعة محل غابات مستنقعات العصر الكربوني.

لماذا كانت رباعيات الأقدام بطيئة نسبيًا في تطوير سمة التغذي على النباتات؟ أولًا، لأن الغابات الاستوائية الرطبة التي تطورت فيها كانت موطنًا فقير التغذية بالنسبة لآكلات النباتات قاطنة الأرض. فكما في الغابات الاستوائية في العصر الحالي، كانت معظم أوراق الأشجار في المظلة الشجرية، وكانت الفطريات والمفصليات تحلل ركام أوراق الأشجار الساقطة بسرعة. لم تكن أوائل آكلات النباتات لتستطيع أن تجد الكثير من المواد النباتيى على أرضية غابات العصر الكربوني (الصورة ٩– ١١). لم تكن الفقاريات لتستطيع تطوير صفة أكل النباتات إلى أن تستطيع البقاءَ حيةً على نحو جيد في أطراف وحوافّ الغابات بعيدًا عن المواطن المجاورة للمياه، فهناك استطاعت البقاء حية على نحو أرجح.

ثانيًا، أي فقاري كبير حجم الجسد يأكل كميات كبيرة من المواد النباتية منخفضة السعرات الحرارية ويحتاج إلى بكتيريا معوية للمساعدة على هضم السليلوز. تعمل البكتيريا المعوية على نحو جيد في مدى محدود تمامًا من درجات الحرارة، بالتالي فقد كان هناك متطلَّب إضافي لنجاح أوائل آكلات النباتات الكبيرة الأجسام وهو نوع ما من تنظيم درجة حرارة الجسم. وقبل أن نستطيع تناول هذه المسألة، ينبغي أن ننظر إلى عملية تنظيم حرارة الجسد في الفقاريات الحية.

تنظيم الحرارة في الزواحف الحية المعاصرة

تُدار وظائف الجسد عن طريق الإنزيمات، والتي هي حساسة لدرجة الحرارة. وفي حال كانت كل الأمور كما نتوقع، فإن الإنزيمات تعمل على أفضل نحو في درجة حرارة مُثْلى ما؛ وتتضمن أي درجة حرارة جسدية أخرى فقدًا للفاعلية، في الهضم والقدرة على الحركة ووقت رد الفعل، وما شابه. للطيور والثدييات ذروة مرتفعة تنخفض على نحو جذري [راديكالي] مع أي ارتفاع أو انخفاض قليل في درجة حرارة الجسد. الزواحف باردة الدماء، لكنها في الحقيقة تكتسب درجة حرارة بيئتها المحيطة، بالتالي تستطيع أن تكون دافئة أو باردة. تستطيع أجساد الزواحف أن تعمل في مدى واسع تمامًا من درجات الحرارة الداخلية [الجسدية]، لكنَّ لها أيضًا درجة حرارة مُثْلى، وتحاول الزواحف التحكم فيها عند ذلك المستوى من خلال تنظيم حرارة سلوكي للجسد.

في العموم، تحاول الزواحف الحفاظ على درجات حرارة أجسادها عند أعلى درجة تتوافق مع السلامة والتكلفة. ورغم أن البقاء دافئة يستلزم طاقةً، فإن مستويات النشاط الأعلى الممكنة عند درجات حرارة أعلى تعطي كفاءةَ صيدٍ أو بحث عن الطعام أكبر، واستيعابَ كميةٍ أكبرَ من الطعام وهضم أسرع ونمو أسرع، وتذكَّرْ الفقرة الخاصة بالتشمس في الفصل الثامن. طالما أن المناخ دافئ وإمداد الطعام وفير على نحو كافٍ لإمداد الزاحف بالطاقة، فإن عملية تنظيم حرارة الجسد التي تُحْدِث أو تحافظ على درجات حرارة دافئة للجسد ستَمنح زيادةً نهائيةً في معدل التكاثر وبالتالي فهي أفضلية ينتخبها الانتخاب الطبيعي. نفس المبادئ تنطبق على كل الفقاريات ذوات الدم البارد.

إن حجم الجسد عامل حاسم في عملية تنظيم حرارة الجسد. للأجساد الصغيرة كتلة ضئيلة ذات مساحة سطح كبيرة نسبيًّا. تتشمس الزواحف الصغيرة الأحجام في الشمس، أو تقبع في الظل، أو تختبئ في جحور أو ركام ورق شجر، أو تمرن أجسادها بنشاط (في العادة بحركات رفع للجسد باليدين) لتغيير درجات حرارة أجسادها. يُمكِّنها صغرُ كتلتها من الاستجابة سريعًا لتغيرات درجة الحرارة بطرق سلوكية، مما يمنحها تحكمًا بالغ الدقة في عمليات أجسادها. أما الزواحف الكبيرة الأحجام فلديها مقاومة طبيعية لتغير درجة حرارة الجسد بسبب كبر كتلتها؛ فالأمر يستغرق وقتًا طويلًا لتسخينها أو تبريدها (تمامًا كما يستغرق غلي غلاية ممتلئة بالماء وقتًا طويلًا).

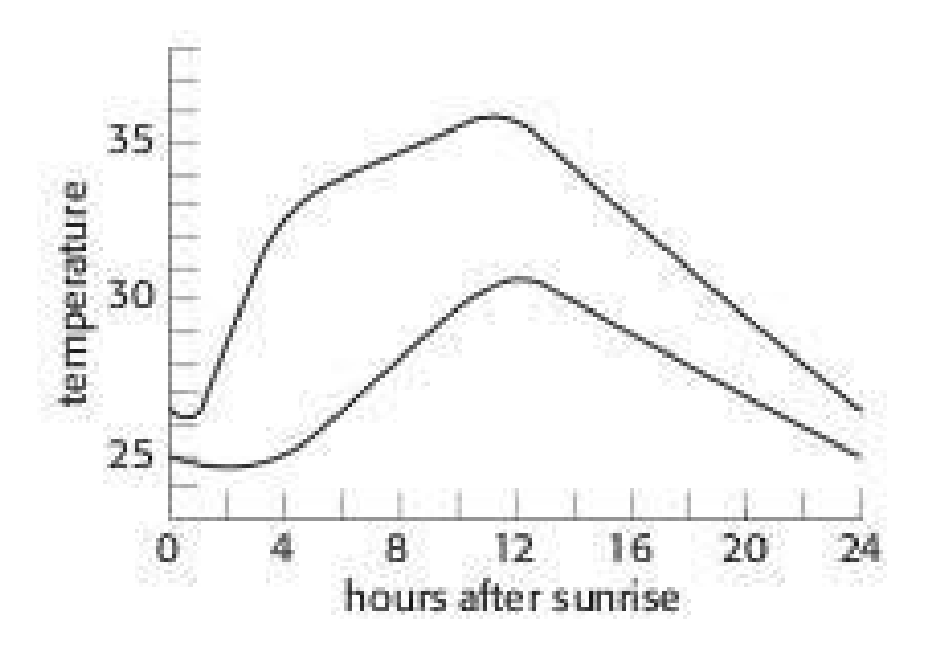
التنظيم السلوكي لحرارة الجسد أكثر استهلاكًا للطاقة وأقل حساسة واستجابة بالنسبة للزواحف الأكبر حجمًا عما هو عليه الحال بالنسبة للزواحف الأصغر حجمًا. لذلك تعيش الزواحف الكبيرة الأحجام في العصر الحالي في بيئات ذات مناخات استوائية معتدلة ودرجات حرارة منتظمة نهارًا وليلًا ومن موسم إلى الآخَر (مثل سحالي الورل في إندونيسيا وأستراليا وأفريقيا)، أو تعيش قرب الماء أو فيه، والتي تصد أي تغيرات في درجة حرارة الهواء (مثل التماسيح والأليجاتورات، والتي رغم ذلك لا توجد أبدًا بعيدًا خارج المناطق الاستوائية). لا توجد سحالي كبيرة الأحجام في خطوط العرض العليا.

تنظيم درجة حرارة الجسم في البليكوسورات

إن البليكوسورين الرائعي الشكل: الديمِترودون Dimetrodon وEdaphosaurus لم يكونا وثيقَيْ القرابة، لكنهما كانا كلاهما كبيري الحجم (بطول يفوق ٣ أمتار). لقد طور كلٌّ منهما على نحو مستقل أشواكًا طويلة فوق بعض فقرات عموده الفقري، مشكلًا صفًّا من الأشواك العمودية الطويلة على طول ظهر هذين الكائنين (الصورتان ١٠- ٦ و١٠- ٨). في أثناء حياتهما، كانت العظام مغطاة بأنسجة لتشكِّل شراعًا عموديًّا ضخمًا. يعتقد معظم العلماء أن الشراع استُعْمِلَ لتنظيم درجة حرارة الجسد.

هاهنا أبسط نسخة من القصة التطورية: لقد كان ديمِترودون Dimetrodon وEdaphosaurus أكبر حجمًا من أن يستطيعا الاختباء من تقلبات درجات الحرارة (في صَدْعٍ أو جِذع شجرة أو جحر مثلًا). لقد استخدم كلٌّ منهما على الأرجح شراعَه للتشمس في الصباح الباكر وآخر بعد الظهر، موجِّهًا جسدَه بحيث يتعرض شراعُه لأشعة شروق الشمس. بضخ الدم خلال الشراع، يستطيع جمع الحرارة الشمسية ونقلها سريعًا وبفاعلية إلى كتلة الجسد المركزية (تعمل الألواح الشمسية بنفس هذه الطريقة لتسخين الماء). حالما يصير ساخنًا ونشيطًا، فإن البليكوسور لن يواجه مشكلة أخرى ما لم يصر أسخن من اللازم. وكان يستطيع تخليص الشراع من الحرارة عن طريق العملية المعاكسة، مديرًا طرفَ شراعِه باتجاه الشمس. وفي الليل، كانت تُحْفَظ الحرارة داخل الجسد بإيقاف [أو تخفيض] إمداد الدم عن الشراع. (الصور ١٠- ٦، ١٠- ٨، ١٠- ١٠).

أتاح الشراعُ _كأداة إضافية تعمل بالشمس_ تحكمًا سريعًا وحسَّاسًا دقيقًا في درجة حرارة الجسد. وكان يمكن تعديل أنظمة الإنزيمات تعديلًا طفيفًا لتعمل بكفاءة كيميائية حيوية عالية ضمن حدود ومدى درجات حرارة محدودة، واستطاع الحيوان التجول حتى في بيئات تتنوع فيها درجات حرارة الهواء على نحوٍ واسع. لقد تحسنت كل مستويات الأنشطة والقدرة على التحرك والجهاز الهضمي الخاص بـDimetrodon وEdaphosaurus. أما الزواحف الأصغر حجمًا التي عاشت بجوارهم فقد كانت قادرة على تسخين أنفسها بسرعة في الصباح، ببساطة لأنها أصغر حجمًا، وكان مهمًا للحيوانات الأكبر حجمًا أن تكون نشيطة بنفس القدر في ذلك الوقت؛ Dimetrodon الديمِترودون لأجل صيد كفؤ والـEdaphosaurus لأجل هروب كفؤ أو دفاع كفؤ.



الشكل ١٠- ١٠ الحسابات التقديرية للقدرة على تنظيم درجة الحرارة في ديمِترودون كبير الحجم، حيث المنحنى البياني الأعلى مع وجود شراعه والمنحنى السفلي بدونه، وهي حسابات تساعد على تأكيد سبب تطور الشراع. لقد مكن الشراعُ الحيوانَ من التدفئ سريعًا في الصباح والوصول إلى درجة حرارة عالية للجسد قريبة من الخاصة بنا. وقد ساعد الشراع في إبقائه دافئًا في الليالي، وحافظ على ثبات درجة حرارة جسده على مدار اليوم. (بيانات من Haack،١٩٨٧م).

عادةً ما يُصاغ السيناريو الشمسي على أساس سباق التسلح التطوري بين العملاقين؛ حيث كان الديمِترودون Dimetrodon يتدفأ في الصباح لكي يطارد الإدافوسور Edaphosaurus، وكان الإدافوسور يتدفأ لكي يكون لديه طاقة للهرب. لكن هذه ليست كامل القصة بالضرورة. فالإدافوسور كان سيكون فريسة سهلة لمجموعة من المفترِسات متوسطة الأحجام لو شُلَّ بفعل البرد، وكان الديمِترودون بلا شك سيكون فريسة أخرى. علاوة على ذلك، كان الإدافوسور سيحتاج تنظيم درجة حرار الجسد لو كان قد امتلك بكتيريا معوية للمساعدة في هضم المواد النباتية.

لم تمتلك بعض البليكوسورات شراعًا على الإطلاق، وقد امتلك البليكسور صغير الحجم Ianthasaurus [زاحف نهر لانثا] شراعًا صغيرًا فقط. وكان للديمترودون والإدارفوسور صغار السن شراعاتٌ صغيرة أيضًا. لقد ارتبطت مساحة الشراع وحجمه بوضوح بحجم الجسد، وهو ما يكون منطقيًّا فقط لو أن البليكوسورات كانت تنظم درجات حرارة أجسادها من خلال سلوكياتها مثل السحالي الحية المعاصرة. إن القصور الذاتي [الثبات الفيزيائي نسبيًّا] الخاص بجسد كبير يعني أنه يسخن ويبرد ببطء، لكن طاقة أكثر مستلزَمَة لأجل مستوى نشاطٍ عالٍ. تحرق الطيور والثدييات كميات كبيرة من الطعام في عملية أيض [تمثيل غذائي] عالية داخلية متأصلة تمكِّنها من أن تكون "دافئة الدماء" باستمرار، لكنْ بالنسبة لتنظيم حرارة الجسد عن طريق السلوكيات، يجب أن تأتي الطاقة من الخارج. طورت بعض البليكوسورات الكبيرة الأحجام أشرعة، وهي تكنولُجيا مضافة خاصة بالطاقة الشمسية لأجل تنظيم فعال كفؤ لدرجة حرارة الجسد، مما قد يكون قد جعلها زواحف وحيدة الفتحة الصدغية synapsids خارقة، لكنْ ليس طيورًا ولا ثديياتٍ.

في عام ١٩٩٦م، لاحظَ S.C. Bennett ملاحظتين ذكيتين جدًّا تعقِّدان القصة البسيطة. أولًا، امتلك Edaphosaurus الإدافوسور عُقَدًا فوق أشواكه العظمية الخاصة بشراعه. وباختبار نموذج منه في نفق هوائي [تجويف نفقي اصطناعي يُدْفَع فيه الهواء لتحديد تأثير الرياح على جسم]، وجد Bennett أن العقد ولَّدت تيارات معاكسة في النسائم الهابَّة على طول الشراع. هذا لن يكون له تأثير على جمع الطاقة الشمسية عن طريق الذيل، والذي يَحدث نتيجة لأشعة الشمس، ولا بتبريده عن طريق الأشعة الشمسية، لكنها كان من شأنها أن تجعل الشراع أداة تبريد أفضل بزيادة انتقال الحمل الحراري عبر الجِلد. فالهواء المتحرك يبرِّد الأجسامَ أفضل مما يسخِّنها، كما نعرف كلنا من الخبرة الشخصية بتيارات الهواء والنوافذ والمراوح.

وجد Bennett أيضًا أن الإدافوسور امتلك شراعًا أصغر من الخاص بديمِترودون ذي نفس الحجم الجسماني، مما يدل على أن شراع الإدافوسور كان أكثر كفاءةً. والجانب الوحيد الذي اختلف فيه كان العُقَد عليه، والناحية الوحيدة التي كان أكثر فعالية وكفاءةً فيها هي في تأثير التبريد. هذا يدل على نحو أقوى أن الوظيفة الأساسية للشراع في كلا الحيوانين كانت التبريد.

يعتقد Bennett أيضًا أن التشمس الصباحي المبكر كان على الأرجح غير فعَّال في كلا الحيوانين (رغم أنه كان أفضل من لا شيء!). ففي الصباح المبكر كانت أجهزتها الدورية [الخاصة بتدوير الدم] كسولة. وكان عمق الجسد باردًا، وكان القلب يضخ الدم ببطء، وكان الدم سميكًا. ربما لم تكن قادرة على ضخ الدم خلال الشراع بسرعة كافية لنقل كل الطاقة الشمسية التي كانت تشع فوق الشراع. رغم ذلك، حالما كانت أجسادها تسخن، كان القلب يضخ

الدم بقوة، وكان الدم يتدفق بحرية وقوة أكثر، ممكّنًا إياها من التبريد بفاعلية بضخ الدم الساخن من أجسادها الساخنة أكثر من اللازم إلى الشراع لكي يُبرَّد عن طريق نسمات الهواء. في المجمَل، يرى Bennett المشكلة الكبيرة لهذه البليكوسورات الكبيرة الأحجام على أنها التسخن أكثر من اللازم في سخونة النهار.

إن كانت البليكوسورات ذوات الشراع قد نظّمت درجة حرارة أجسادها، فبالتالي تكون البليكسورات الأخرى (كالتشيزيات أو البرميليات caseids مثلًا] نظمت درجة حرارة أجسادها هي أيضًا على الأرجح، بطرقٍ سلوكية لم تترك أثرًا على الهيكل العظمي. يسهُل تصور أن التعديل الطفيف لأنظمة الإنزيمات الداخلية الذي ترافقَ مع أول "محاولات" لتنظيم درجة حرارة الجسد عن طريق الشمس شجَّعَ على تطور أنظمة التحكم الداخلية، مثل تلك التي تُغيِّر مستوى تدفق الدم إلى السطح. بعد انتهاء العصر البِرْميّ، عندما تطورت البليكوسورات المتقدمة إلى therapsids [زواحف أحادية الفتحة الصدغية شبيهة بالثدييات] وانقرض الباقون، نرى علامات قليلة محفوظة [كمتحجرات] على وجود أدوات [أعضاء] تنظيم درجة حرارة الجسد في هياكلها العظمية. رغم ذلك، فهناك دليل غير مباشر على أن الـtherapsids امتلكت تنظيمًا محدودًا لدرجة حرارة أجسادها، وذلك الدليل سيُقدَّم لاحقًا في هذا الفصل.

تغيرات العصر البرمي

أدّى تغير جغرافيا القارّات إلى تغير جغرفية بيولُجية كبيرة في العصر البرمي (راجع الفصل الثامن). تحرك القارة الجنوبية القديمة الضخمة جُنْدوانا Gondwana إلى الشمال لتصطدم بقارةِ أورامِركا Euramerica، وبحلول العصر البرمي الأوسط شكَّلَتْ هاتان الكتلتان كتلةً ارضيّةً متَّصِلةً. ولاحقًا قليلًا، اصطدمت قارة آسيا بقارة أورامِركا من الشرق، رابطةً جبال الأورال *[التي تصل بين قارة آسيا وقارة أوروبا، وتقع في روسيا وقازاقستان. جبال الأورال سلاسل جبلية تمتد لحوالي ٢،٤٠٠ كم في الجزء الغربي من روسيا. تمتد هذه الجبال جنوبًا من دائرة القطب الشمالي حتى قرب حدود كازاخستان]* لإكمال اجتماع القارّات في القارّةِ الأمِّ الضخمة القديمة بانجيا Pangea (راجع الصورة ٦– ٣).

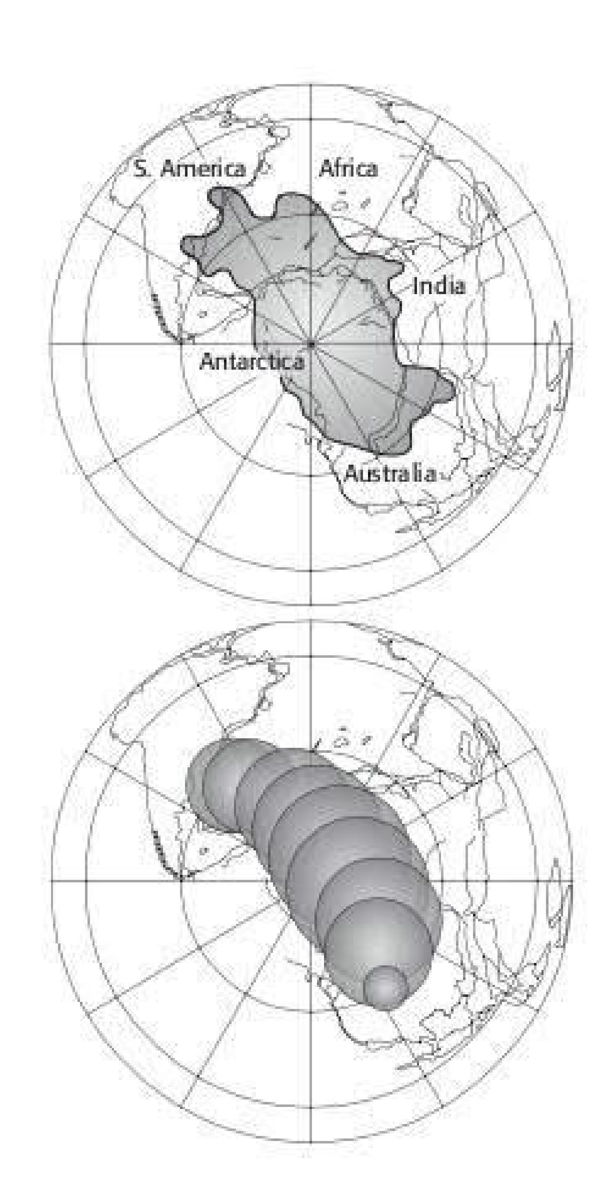
وضعت هذه الأحداث التكتونية [المتعلقة بتحركات القشرة الأرضية وتغيراتها البنيوية والجغرافية] نهايةً للمناخات الرطبة التي شجَّعَتْ عليها منظومة البحيرات الكبيرة والدلتاوات المليئة بالبرك والسواحل على طول الساحل الجنوبي لأورامِركا، حيث كانت غابات العصر الكربوني قد ازدهرت.
وعلى مستوى العالَم، هيمنَتْ على الحياة النباتية في العصر البِرْميّ النباتات عارية البذور، في المعظم أشجار الجِنْجكو أو الجنكة gingkoes والصنوبريّات conifers والسيكاسيات cycads. لقد كانت الصنوبريات قد تطورت في العصر الكربوني. ومقارنةً مع نباتات دهر الحياة العتيقة المتأخر الأخرى فقد كانت أفضل تكيفًا لمقاومة الجفاف، وقد تطورت على الأرجح في أراض مرتفعة أكثر جفافًا بكثيرٍ، لأنها نادرة في السهول الفيضية المنخفضة. واختفت نباتات الذئبيات lycopods ذوات حجم الأشجار من بيئات ما حول المستنقعات الكربونية في آخر العصر الكربوني حينما صار المناخ أجف. وحينما استمرت النزعة للتجفف إلى العصر البرمي، انتشرت وتوسعت الصنوبريات إلى الأراضي المنخفضة على حساب نباتات المستنقعات التي كانت قد هيمنت على مستعمَرات الحياة الحيوانية في العصر الكربوني.

انخفض تنوع النباتات الكلي في هذا التحول [أو الانقلاب]. رغم ذلك، كان الانخفاض متوزعًا تدريجيًّا على مدى الزمن. إنه لم يكن كارثيًّا أو فجائيًّا، بل كان استجابةً لتغير المناخ، ربما بسبب التغيرات الجغرافية، ويمكن تفسيره بالعمليات التطورية العاديّة.

غزو [أو استعمار] قارة جُنْدْوانا (قارة كبرى قديمة كانت في دهر الحياة القديمة المتأخر في نصف الكرة الجنوبي وضمت القطب الجنوبي وأفريقيا وأستراليا والهند وأمرِكا الجنوبية)

تُظهِر الأدلةُ الجغرافية من قارة جُنْدوانا العتيقة أن صفيحة ثلجية ضخمة كانت متمركزة على القطب الجنوبي الخاص بذلك الزمن (الصورة ١٠– ١١) في العصر الكربوني المتأخر والبرمي المبكر. تحركت صفائح الثلج باتجاه الشمال محتكَّةً بأسطح الصخور ومودِعةً امتداداتٍ من الركام الجليدي على مستوى القارّات.

سمحت تصادمات واتحادات القارات التي كوَّنت القارة القديمة الكبرى بانجيا للحيوانات البرية بالوصول مشيًا إلى قارة جُنْدوانا. لكنَّ البليكوسورات _والتي كان لها دومًا توزع محدود مقتصر على المناطق الاستوائية فقط_ ظلت في المناطق الاستوائية، وقل تنوعها للغاية؛ فبليكوسورات العصر البرمي المتأخر لا توجد إلا في أمركا الشمالية وروسيا. وبدلًا من ذلك، غزت متحدراتها قارة جُنْدوانا، وهي الزواحف أحادية الفتحة الصدغية التي تسمى بالـ therapsids. امتلكت الـtherapsids فتحات جمجمية أكبر مما امتلكت البليكوسورات، مما يدل على أنها امتلكت فكوكًا أقوى. لقد كانت الجمجمة بكاملها مقوَّاة ومُغلَّظة، وكان بالفك دومًا أسنانًا نابيّة بارزة. كان للـtherapsids أيضًا قدرة على التحرك أفضل بكثير من البليكوسورات.



الشكل ١٠- ١١ آثار العصر الجليدي منتشرة على مدى واسع في القارات التي كونت ذات يوم قارة جُندوانا في دهر الحياة القديمة المتأخر. يمكن تحديد حواف الصفائح الثلجية بيقين، لكن ليس الزمن الدقيق الذي وصل فيه الثلج إلى تلك الحوافِّ. أبسط تفسير لذلك هو أن قبعة ثلجية تكونت فوق القطب الجنوبي الخاص بذلك الزمن. وخلال ملايين السنوات، انجرفت قارة جندوانا ببطء فوق القطب الجنوبي، وتركت حواف قبعة الثلج المرتحِلة أثرًا غير منتظِمٍ. انتهت الآثار عندما ذابت القبعة الثلجية الضئيلة الأخيرة المتبقية الخاصة بالعصر البرمي.

تنظيم درجة حرارة الجسد في الثيرابسيديَّات therapsids

لا بد أن الديمِترودون Dimetrodon _بشراعه ومساحة سطح جلده الكبيرة_ كان قادرًا على الحفاظ على تنظيمه لدرجة حرارة جسده عبر مدى معقول من التباين البيئي الخارجي، ولا بد أنه عاش في بيئة كان ذلك التنظيم لدرجة حرارة الجسد فيها مطلوبًا ومُمكنًا على السواء. لا بد أيضًا أنه فقد القليل جدًّا من الماء من خلال جلده.

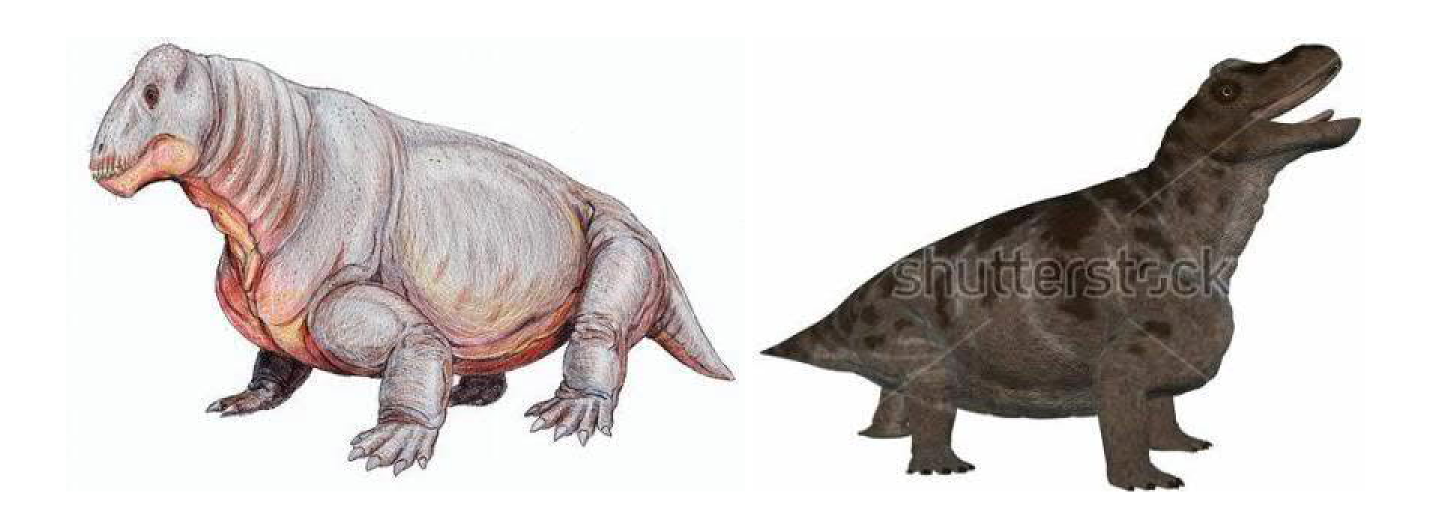
ربما كانت هذه التكيفات الخاصة بأحد وتديات الأسنان sphenacodont تكيفات مُسْبَقة لغزو الـ therapsids لمواطنَ أكثرَ تحدِّيًا. لقد بقي الديمِترودون نفسه حيًّا ونجا من تغير مناخي في العصر البرمي فيما هو حاليًّا ولاية تكساس والذي أباد معظم البليكوسورات الأخرى من المنطقة، ربما لأنه استطاع تحمل مدى درجات حرارة أكبر وظروف أكثر جفافًا مما استطاعت هي. لكن في النهاية انقرض الديمِترودون والبليكوسورات الأخرى، لِيُستبدلوا في مناطق خطوط العرض الاستوائية بالزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين diapsid بدلًا من أحاديَّات الفتحة الصدغية synapsids. (راجع الفصل ١١)

تطورت **الثيرابسيديَّات** therapsids *[زواحف شبيهة الصفات بالثدييات حيث كانت أرجلها أكثر انتصابًا وتوازيًا وأقل تفرشحًا مما أعطاها مشية شبيهة بالثدييات، وكان لها أسنان مختلفة الأحجام قواطع أمامية وأنياب وضروس طاحنة، ويعتقد أن بعضها امتلك فروًا وأنها كانت ذات درجة حرارة داخلية مستقلة ثابتة، وعظامها وعائية، ومن فرع منها هو cynodonts "ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب" تطورت الثدييات]* من بليكوسورات وتدية الأسنان sphenacodont، وعاشت على نحو رئيسي عند خطوط العرض المتوسطة والعالية بدلًا من المناطق الاستوائية؛ ولقد تطورت كل الفروع التطورية **للثيرابسيديَّات** therapsids في قارة جُنْدوانا وانتشرت خارجها منطلقةً منها. ليس واضحًا ما إذا كانت قد تغلبت عليها في المنافسة مجموعاتُ الزواحف الأخرى في المناطق الاستوائية. إن اقتصار أو تكيف الـ therapsids [الزواحف الشبيهة الصفات بالثدييات] مع المواطن الأجف والأكثر موسميةً ربما شجَّعَ نجاحَهم في جندوانا الجنوبية، بعيدًا عن المناطق الاستوائية وباتجاه خطوط العرض الأعلى. لقد جُمِعَت آلافٌ من عينات الـtherapsids من صخور العصر البرمي المتأخر فيما هو حاليًّا جمهورية جنوب أفريقيا. يوجد دستات من العينات حرفيًّا، ولدينا كم كبير من الأدلة على طبيعة بيئتهن. لقد كانت العصور الجليدية قد انتهت وكانت النباتات وفيرة، منها الأشنات (الطحالب) وأشجار السرخس ونبات ذيل الخيل (الكُنْباث) والسرخسيات الحقيقية والصنوبريَّات والشجرة القديمة المشهورة بمتحجرات أوراقها Glossopteris [ذات الأوراق لسانية الشكل، أضخم أشجار سرخسية من الرتبة المنقرضة للسرخسيات ذوات البذور]. كان المناخ بالتأكيد معتدلًا باعتبار أن جمهورية جنوب أفريقيا الحاليَّة كانت عند خط العرض ٦٠. لكنْ لا بد أنه كان موسميًّا، بالتالي كان إمداد الغذاء النباتي موسميًّا أيضًا.

وعندما نجد زواحف وحيدات الفتحة الصدغية كبيرة الأحجام منقرضة في خطوط العرض العالية تلك، يمكننا أن نكون متأكدين بطريق معقولة بأن **الثيرابسيديَّات** therapsids كانت مختلفة عن الزواحف الحية المعاصرة في عملية تمثيلها الغذائي. لا بد أن تنظيمها لحرارة أجسادها كان أكثر تعقيدًا من ردود الفعل السلوكية البسيطة. إننا نعرف أن الثدييات تطورت من therapsids متأخرة في العصر الترياسي المتأخر، فهل كانت therapsids العصر البرمي تمتلك بالفعل أسلوب تنظيم لحرارة أجسادها شبيه بالثديي؟ أدلتنا المتوفرة ضئيلة للغاية بحيث لا يمكننا التقرير، لكن الأدلة المفكَّكة المتناثرة المتاحة تقترح أن الإجابة هي لا.

امتلكت **الثيرابسيديَّات** therapsids طرفين أماميين مفرشحين متباعدين ولم تتحرك على نحو كفؤ جدًّا مقارنةً بالزواحف والثدييات اللاحقة. وافتقد الكثير منها الحنكَ الثانوي الذي كان سيمكنها من المضغ والتنفس في نفس الوقت. وبخلاف الزواحف الأخرى، امتلك الكثير من الـtherapsids أجسادًا قصيرة مكتنزة مربوعة، ذوات ذويل قصيرة؛ وهي تكيفات جيدة لحفظ حرارة الجسد لو لم تكن تولِّدُها (الصورة ١٠– ١٢). ربما امتلكت أيضًا شعرًا أو جلودًا سميكة لحفظ الحرارة، لكن ليس هناك سبيل لاستبيان ذلك من متحجراتها. كل ذلك يقترح أن الـtherapsids لم يكن لها ميزانية [مقدار تمثيل غذائي خاص بـ] طاقة كبيرة. ربما امتلكت نوع متوسط ما من التحكم الداخلي في درجة الحرارة، لكنه لم يكن بأي حالٍ بجودة الذي في الثدييات الحية المعاصرة.

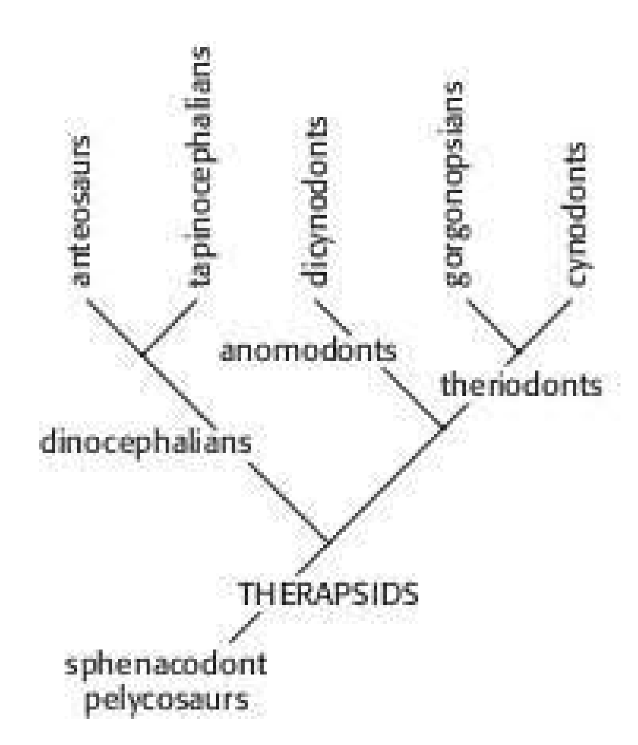




الصورة ١٠– ١٢ تخطيط أو بنيان جسد الـtherapsids يبدو كما لو أنه كان جيدًا للحفاظ على الحرارة. هذا الحيوان هو Keratocephalus [يعني اسمه ذو الرأس القرناء]. وهو من فصيلة tapinocephalian [تعني ذوات الرؤوس المنحنية] من قارة جنْدُوانا العتيقة. يُعْرَض الهيكل العظمي في متحف الجامعة في Tübingen، جرمانيا [ألمانيا].

تطور الثيرابسيديَّات therapsids [الزواحف الشبيهة بالثدييات ذوات الفتحة الصدغية الواحدة]

تطورت **الثيرابسيديّات** Therapsids سريعًا وكانت توجد في كلٍّ من روسيا وجمهورية جنوب أفريقيا الحاليتين في صخور العصر البرمي المتأخر؛ بعبارة أخرى: لقد انتشرت على مستوى العالَم. إن تاريخها التطوري لم يُتعَرَّف عليه بالتفصيل على نحوٍ ملائمٍ بعدُ، ولا يزال التصنيف يتغير سريعًا. يُظْهِر الشكل ١٠– ١٣ إحدى الفرضيات حول تطور الـTherapsids.



الشكل ١٠– ١٣ إحدى الفرضيات المحتمَلة (شجرة تطورية) لتطور المجموعات الرئيسية للثيرابسيديَّات therapsids. وهي مبسطة كثيرًا من شجرة للعالمين Rubidge and Sidor (2001). إن الفرع التطوري الوحيد الباقي على قيد الحياة هو الـcynodonts [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب]، فقد تطورت مجموعة متقدمة من ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب إلى الثدييات في العصر الترياسي المتأخر.

معاني أسماء الفصائل:

Sphenacodont pelycosaurs: البليكوسورات أو الزواحف البدائية ذوات الأسنان المثبتة كالأوتاد في تجاويف عميقة.

therapsids: الثيرابسيديَّات، فرع الزواحف الشبيهة بالثدييات.

dinocephalians: رتبة ذوات الرؤوس المرعبة، تضمنت الدينوسيفيليات كلًّا من أشكال نباتية ولاحمة، أنواع عديدة منها كانت لها جماجم سميكة مع نتوءات عظمية بارزة كثيرة ربما للصراع على المناطق أو التزاوج، وطورت بعض أنواعها بروزاتٍ أو قرونًا. وامتاز فكها بقواطع متشابكة ووجه متجه إلى الأسفل، وكانت ذوات أحجام ضخمة، فوصل النباتي Tapinocephalus [ذو الرأس المنحني أو المتواضع] والقارت [متنوع أصناف الطعام] Titanosuchus [الزاحف العملاق] إلى وزن طنين وطول 5 ,4 مترًا، ووصل النوعان اللاحمان المفترسان Titanophoneus and Anteosaurus [الزاحف القاتل العملاق وزاحف عنتي أو آنتايوس الذي عاش في شمال أفريقيا نسبة إلى البطل النصف الإله الأمازيغي في أسطورة يونانية والذي دافع عن أرض الأمازيغ وقتله هرقل] إلى نفس الطول وبجمجمة طولها ٨٠ سم وبوزن جسم حوالي نصف طن.

Anteosaurs: فصيلة زواحف عنتي أو الأمازيغي، عاشت بشمال أفريقيا، يُعتقَد أنه كان نصف مائي في اعتياشه وعاش كالتمساح لأن أرجله مفرشحة ضعيفة تقع تحت جسده وحزامه الكتفي خفيف البنية وترقوته وعظام لوحه الكتفي ضيقة نحيلة، وعظم فخذه نحيل منحنٍ، مما يدل على حيوان مائي رشيق رغم كبر وزنه، لكن أوحت النتاوئ على رأسه بسلوك تناطح للصراع

على التزواج مثل سائر أنواع dinocephalians [ذوات الرؤوس المربعة] بأنه كان يخرج إلى البر من آن إلى أخر، وكانت أطرافه قصيرة وجمجمته طويلة ضيقة ثقيلة، وكان الذيل طويلًا على الأقل في بعض الأنواع، يعتقد أنه كان متخصصًا في افتراس الفرائس من الأنواع كبيرة الأحجام مثل زواحف فصيلة pareiasaurs [ذوات الخد المغطى بالأشواك والنتاوئ] المدرَّعة و tapinocephalid dinocephalians [ذوات الرؤوس المنحنية من رتبة ذوات الرؤوس المربعة] الضخمة.



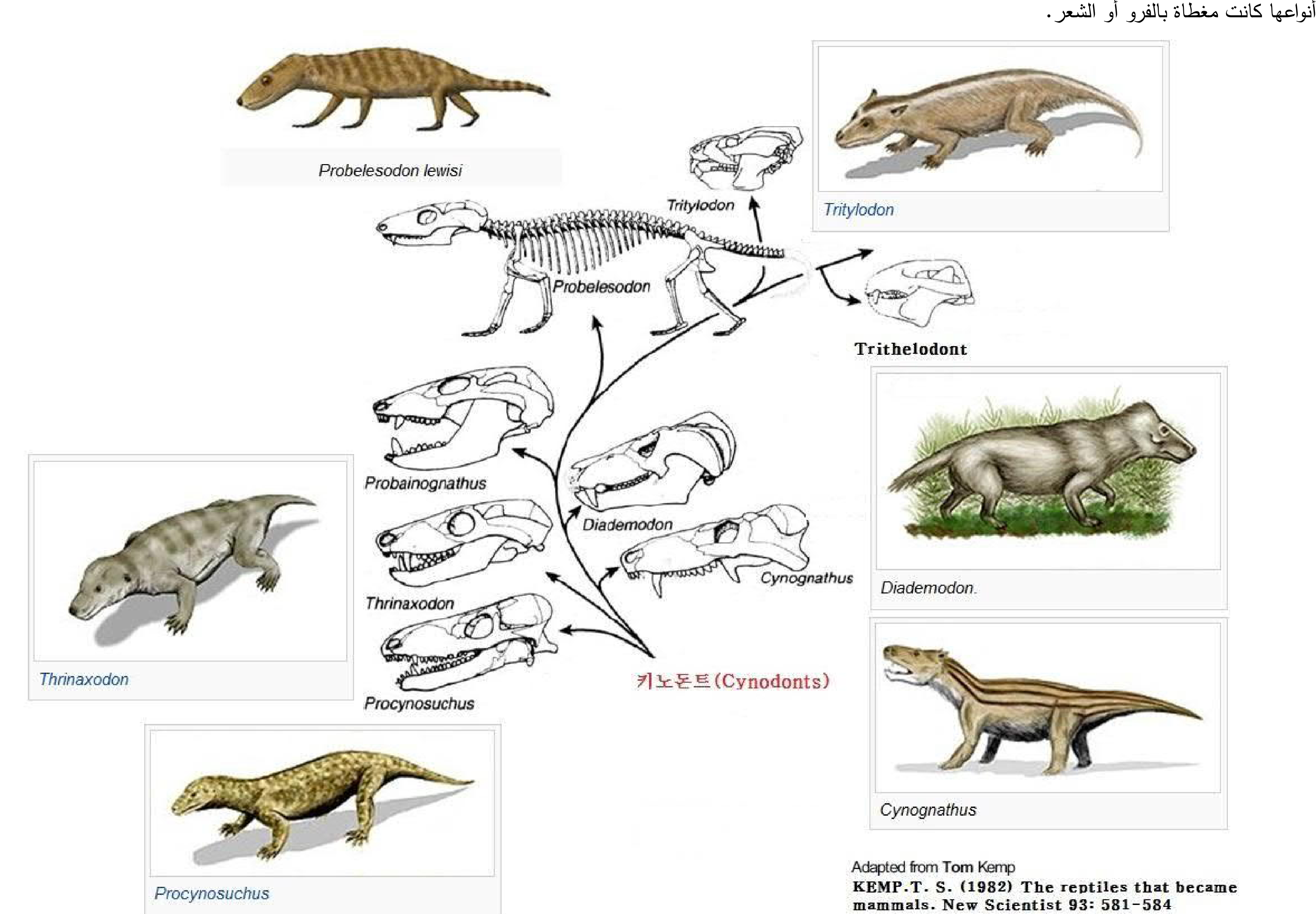
Pareiasaurs [ذوات الخد المغطى بالأشواك] ربما اتخذَتْ Anteosaurs [زواحف عنتي] بعضَها كفرائس تتغذَّى عليها، وعلى اليسار إعادة بناء لزاحف عَنْتِي

tapinocephalians: فصيلة ذوات الرؤوس المنحنية أو المتواضعة، كانت تقطن ما هو أفريقيا حاليًّا حصرًا، الأنواع المبكرة منها كانت مفترسة لاحمة أو قارتة [تأكل اللحم والنبات] مثل النوع العملاق Titanosuchidae، وكانت الأنواع المتأخرة منها نباتية. أما النوع Tapinocephalus نفسه الذي منح اسمه لتلك الفصيلة فكان نباتيا من العصر البرمي الوسيط من ذوات الرؤوس المربعة dinocephalians، واتسم بجسد مربوع [قصير سمين] شبيه بالبرميل، وسطح جمجمة ضخم عظمي وخطم قصير، ويعتقد أنه كباقي فصيلة مرعبات الرؤوس انخرطت ذكوره في تناطح للصراع على التزاوج، وكان طوله فوق الثلاثة أمتار ووزنه حوالي طن ونصف أو طنين، مما يجعله من أضخم الحيوانات في عصره.

theriodonts: رتبة ويعني اسمها ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الثدييات، لو عرفناها بطريقة التصنيف القديمة فقد عاشت من العصر البرمي الوسيط حتى الطباشيري الوسيط، أما وفق تعريف مفهوم الفروع التطورية فهي تتضمن الثدييات الحية واسلافها. ظهرت تلك الفصيلة في نفس زمن ظهور anomodonts [عديمات أو قليلات الأسنان النباتية] منذ ٢٦٥ مليون عام ماض، وحتى الأنواع المبكرة منها كانت أكثر شبهًا بالثدييات من anomodonts وباقي فصائل رتبة ذوات الرؤوس المربعة Dinocephalian المعاصرة لها. وتتضمن ثلاثة فصائل فرعية: Gorgonopsia [ذوات الرؤوس المخيفة الشبيهة تشبيهًا بوحش الجورجونة الجريكي الأسطوري] Therocephalia and Cynodontia , [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب ومن أحد فروعها تطورت الثدييات]، كانت أشبه بالثدييات من كل باقي الثيرابسيديات، لأن فكوكها السفلية كانت أكبر مما منحها قدرة أكثر كفاءة على المضغ، علاوة على ذلك انتقلت العديد من عظام الفك السفلي التي توجد في الزواحف إلى الأذنين، مما مكنها من قدرة افضل على السمع ومكن أفواهها من الانفتاح أوسع. وهذا جعلها أنجح مجموعات الزواحف وحيدات الفتحة الصدغية. يشير مصطلح Eutheriodonts أو ذوات الأسنان الشبيهة بالخاصة بالثدييات الحقيقية إلى كل الـtheriodonts ما عدا مجموعة ذوات الرؤوس الجورجونية (أكثر المجموعات بدائيةً)، لقد لقد تضمنت therocephalians [ذوات الرؤوس الشبيهة برؤوس الثدييات]، و cynodonts [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب] ومتحدراتها وهي الثدييات. امتلكت ذوات الأسنان الشبيهة بالخاصة بالثدييات الحقيقية جماجم أكبر تتلاءم مع أدمغة أكبر وعضلات فك محسنة أقوى. لقد كانت إحدى المجموعتين من وحيدات الفتحة الصدغية synapsid الناجيتين من حدث الانقراض البرمي–الترياسي الهائل، أما المجموعة الأخرى فكانت dicynodonts [ذوات النابين الشبيهين بأنياب الكلب]. تضمنت فصيلة therocephalians أنواعًا لاحمة وأخرى نباتية، انقرضت كلها بعد العصر الترياسي المبكر. أما ذوات الأسنان الشبهية بالثدييات الباقية theriodonts وهي cynodonts [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب] فتضمنت لواحم مفترسة مثل Cynognathus [ذو الفك الشبيه بفك الكلب] مثل وكذلك عواشب تطورت لاحقًا مثل Traversodonts [ذوات الأسنان العريضة]. في حين ظلت Traversodonts لمعظم الوقت ما بين متوسطة الأحجام إلى كبيرة على نحو معقول (كان طول أكبر نوع منها مترين)، فإن الأنواع اللاحمة منها كانت تصير أصغر باستمرار بالتدريج مع تقدم العصر الترياسي. وبحلول العصر الترياسي المتأخر تضمنت ذوات الأسنان شبه الكلبية الفصيلة الشبيهة بالقوارض tritylodonts [ذوات الأسنان ذوات الثلاث أطراف مستدقة أو منحنيات، كان لها قادمتان أماميتان مستطالتان شبيهتان بالخاصتين بالقوارض وبدون أنياب، كان لديها فراغ يفصل القادمتين عن الأسنان الطاحنة ذات الشكل المربع، كان للأسنان الطاحنة في الفك العلوي ثلاثة صفوف من الضواحك على كل طول الفك، مع أخاديد بينها. وكان للفك السفلي صفين من الضواحك تتلاءم مع الأخاديد التي في الفك العلوي. فكان فكاه يغلقان بالأسنان على نحو متطابق أكثر دقة مما كان في ذوات الأسنان الشبه كلبية الأبكر. فكان يطحن الطعام بين أسنانه إلى حد ما مثل القوارض الحديثة] (ربما كانت ذوات قرابة تطورية أو متحدراتٍ من الفصيلة Traversodonts). والـ Tritheledontidae أو tritheledontids [كان اسمها في التصنيف القديم ictidosaurians] الضئيلة الشبيهة بحيوان الزَّبَاب، والتي يُرَجَّح أنها هي التي تطورت إلى أول الثدييات [tritheledontids هي ذوات ذوات الأسنان الثديية الأولى، كان لها أسنان شبه كلبية صغيرة الحجم بطول ١٠ إلى ٢٠ سم بها بروزات ونتاوئ كالثدييات، ظلت تحتفظ ببعض السمات التشريحية الزاحفية كوجود جذر واحد لكل سن يربطه بالفك، كانت لاحمة أو آكلة للحشرات على نحو رئيسي، رغم أن بعض أنواعها ربما طورت صفة القارتية. تُظهِر هياكلها العظمية في متحجراتها أن لها علاقة وثيقة بالثدييات، وربما منحت هي أو أقارب لصيقون لها النشأة للثدييات، وكانت أحد أطول خطوط تحدر الثيرابسيديات الغير ثديية عمرًا، منذ العصر الترياسي المتأخر حتى العصر الجوارسي، وانقرضت في العصر الجوارسي ربما بفعل التنافس مع ثدييات ما قبل التاريخ مثل ذوات الأسنان الثلاثية المخاريط triconodonts، والـ tritheledontids معروفة من عينات من أمِركا الجنوبية وجمهورية جنوب أفريقيا، مما يدل على أنها ربما عاشت في قارة جندوانا فقط]. انقرضت الـ tritheledontids أثناء العصر الجوارسي، وبقيت الـ tritylodonts على قيد الحياة حتى العصر الطباشيري، لكن الثدييات استمرت في التطور. نجحت الكثير من الثدييات في النجاة من حدث الانقراض الطباشيري–الباليوجيني، والذي أباد كل الديناصورات الغير طيرية [بالتالي نجت أسلاف الطيور المعاصرة فقط من فرع الديناصورات]، مما مكن الثدييات من التنوع والسيادة على الأرض.
gorgonopsians: ذوات الوجوه المرعبة الجوروجونية، تشبيهًا لها بوحش الجورجونة الجريكي الخرافي، امتلكت أسنانًا مختلفة الأشكال والأحجام كالثدييات، وقناة صدغية متطورة تمامًا، وحنكًا مقبَّبًا أو مقوسًا لأعلى ربما يسَّر التنفس أثناء الإمساك بالفريسة، وعظام أذنين متطورة أوليًّا، وكانت ضمن أضخم أنواع المفترِسات في العصر البرمي المتأخر. وأضخم نوع معروف

منها Inostrancevia [سماه مكتشفه بهذا الاسم تكريمًا لـ Aleksandr Inostrantsev] كان بحجم دب كبير وبجمجمة بطول ٤٥ سم وسنٍ شبيه بالسيف [أو سيفيٍّ] بطول ١٢ سم. وانقرضت الجورجونيَّات بحلول العصر البرمي المتأخر، فهي الفصيلة الوحيدة من رتبة theriodonts [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الثدييات] التي انقرضت في ذلك الانقراض الجماعي الكبير.

cynodonts: ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب، فرع تطوري من الثيرابسيديَّات [الزواحف الشبيهة بالثدييات] ظهر لأول مرة في العصر البرمي المتأخر منذ حوالي ٢٦٠ مليون عام ماضٍ. تتضمن هذه المجموعة الثدييات الحديثة المعاصرة وكذلك أسلافها المنقرضة وأقاربها الوثيقة. انتشرت cynodonts [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب] الغير الثديية عبر جنوبي جُنْدوانا، وتوجد عينات متحجراتها في صخر أمركا الجنوبية وأفريقيا والهند والقطب الجنوبي. ووجدت متحجرات لها في القارات الشمالية: شرقي أمركا الشمالية وكذلك في بلجيكا وشمالي غرب فرانس. وقد كانت إحدى أكثر مجموعات الثيرابسيديَّات تنوعًا. كانت فصيلة cynodonts [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب]، بالإضافة إلى فصيلتي الجورجونيَّات gorgonopsians وذوات الرؤوس الشبيهة بالثدييات therocephalians، جزء من مجموعة من الثيرابسيديَّات therapsids [الزواحف شبيهات الثدييات] تُدعَى بالـtheriodonts [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الثدييات]. أقدم وأكثر ذوات الأسنان الشبه كلبية بدائية وُجِد حتى الآن هو Charassognathus [يعني اسمه ذو الفك المحزَّز، كان له خطم طويل يمثل قرابة نصف طول جمجمته واستطالة وجهية] من العصر البرمي المتأخر. ووُجِدت فصيلة أخرى بدائية من ذوات الأسنان شبه الكلبية هي procynosuchids، والتي تضمنت Procynosuchus [يعني اسمه زاحف ما قبل زمن الكلاب أو الثدييات] وDvinia [الدڤيني نسبة لنهر Dvina في روسيا]. كانت ذوات الأسنان شبه الكلبية ضمن المجموعات القليلة من الزواحف ذوات الفتحة الصدغية الواحدة synapsids التي نجت من حدث الانقراض البرمي–الترياسي، وتعافت من بعده ببطء. أما أكثر فروعها تطورًا فتوجد ضمن ذوات الأسنان الشبيهة بالخاصة بالكلب الحقيقية Eucynodontia، والتي تتضمن الثدييات. أما الأجناس الأبرز في ذوات الأسنان شبه الكلبية غير الثديية فهي الـcynognathids [ذوات الفك الشبيه بفك الكلب] المفترِسة اللاحمة الضخمة، والنباتيات المماثلة في الضخامة traversodonts [ذوات الأسنان العريضة المستعرِضة] والحيوانات الصغيرة الشبيهة بالثدييات tritylodontids وtritheledontids . إن وجود العظمة التنفسية المنحنية الممتدة عرضيًّا على طول الجدار الجانبي من المجرى الأنفي المعروفة بـ respiratory turbinates توحي بتمثيل غذائي سريع [كطريقة لتنظيم درجة حرارة الجسد] ووجود ثبات واستقلال لدرجة الحرارة الداخلية. وأثناء تطور ذوات الأسنان شبه الكلبية، قل عدد عظام الفك. وصار للفك السفلي عظمة واحدة، وهاجرت العظمة المفصلية والزاويّة إلى القرنيوم حيث عملتا كأجزاء من الجهاز السمعي الثديي. وطورت الـCynodonts كذلك حنكًا ثانويًّا في سطح الفم، مما سمح للهواء بالتدفق من المنخارين لينتقل إلى موضع في مؤخر الفم بدلًا من الدخول مباشرة من خلال الفم، مما مكنها من المضغ والتنفس في نفس الوقت. وهذه السمة توجد في كل الثدييات. اتسمت الـCynodonts المبكرة بسمات للهيكل العظمي مماثلة للخاصة بالثدييات. فالأسنان كانت متباينة بلكامل وكان صندوق المخ منتفخًا ناتئًا من الخلف، وما عدا المجموعات الإكليلية الثديية فقد كانت تضع بيضًا على الأرجح. وكانت النافذة الصدغية أكبر بكثير مما كان في أسلافها، وتوسعة القوس الوجنيَّة في جمجمة أكثر شبهًا بالثدييات سمح بمجموع عضلي فكي أقوى. وامتلكت الحنك الثانوي الذي افتقدته الثيرابسيديَّات الأخرى البدائية، ماعدا therocephalians ذوات الرؤوس الشبيهة بالثديية، التي كانت أقرب الأقارب التطورية لذوات الأسنان شبه الكلبية cynodonts. ولو أن الحنك الثانوي في ذوات الأسنان شبه الكلبية كان يربط عظام الفك السفلي مع عظام الحنك، كما في الثدييات. بينما في ذوات الرؤوس الشبيهة بالثديية فكان على نحو أولي يربط الفك السفلي بعظمة الميكعة [عظمة مسطحة رقيقة تشكل الجزء الأمامي أو الخلفي للفاصل الأنفي حيث يقسم المنخَر]. وكانت عظمة المضرس أكبر عظمة في الفك السفلي. ويعتقد بعض العلماء دون أدلة حاسمة أن بعض أنواعها كانت مغطاة بالفرو أو الشعر.

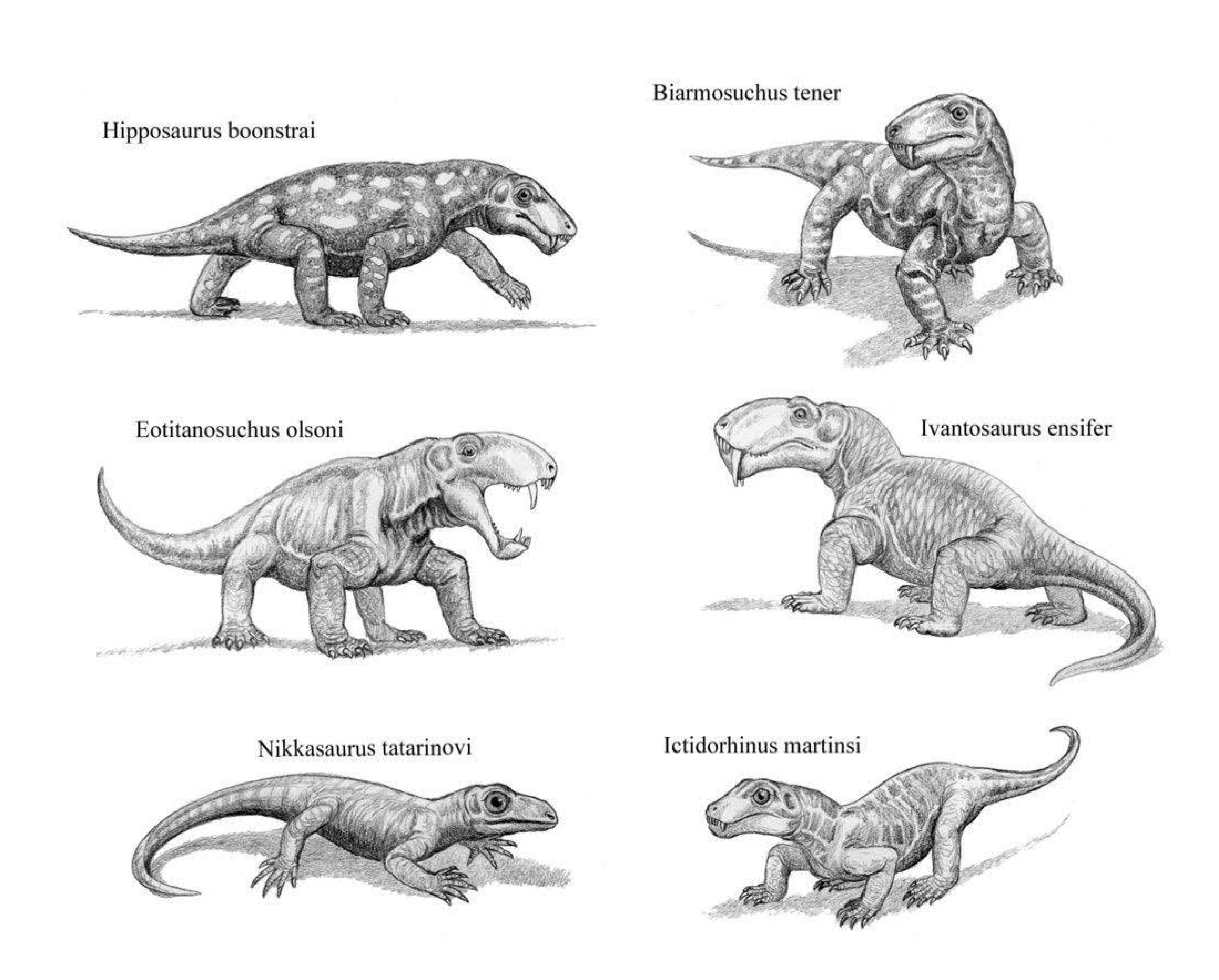


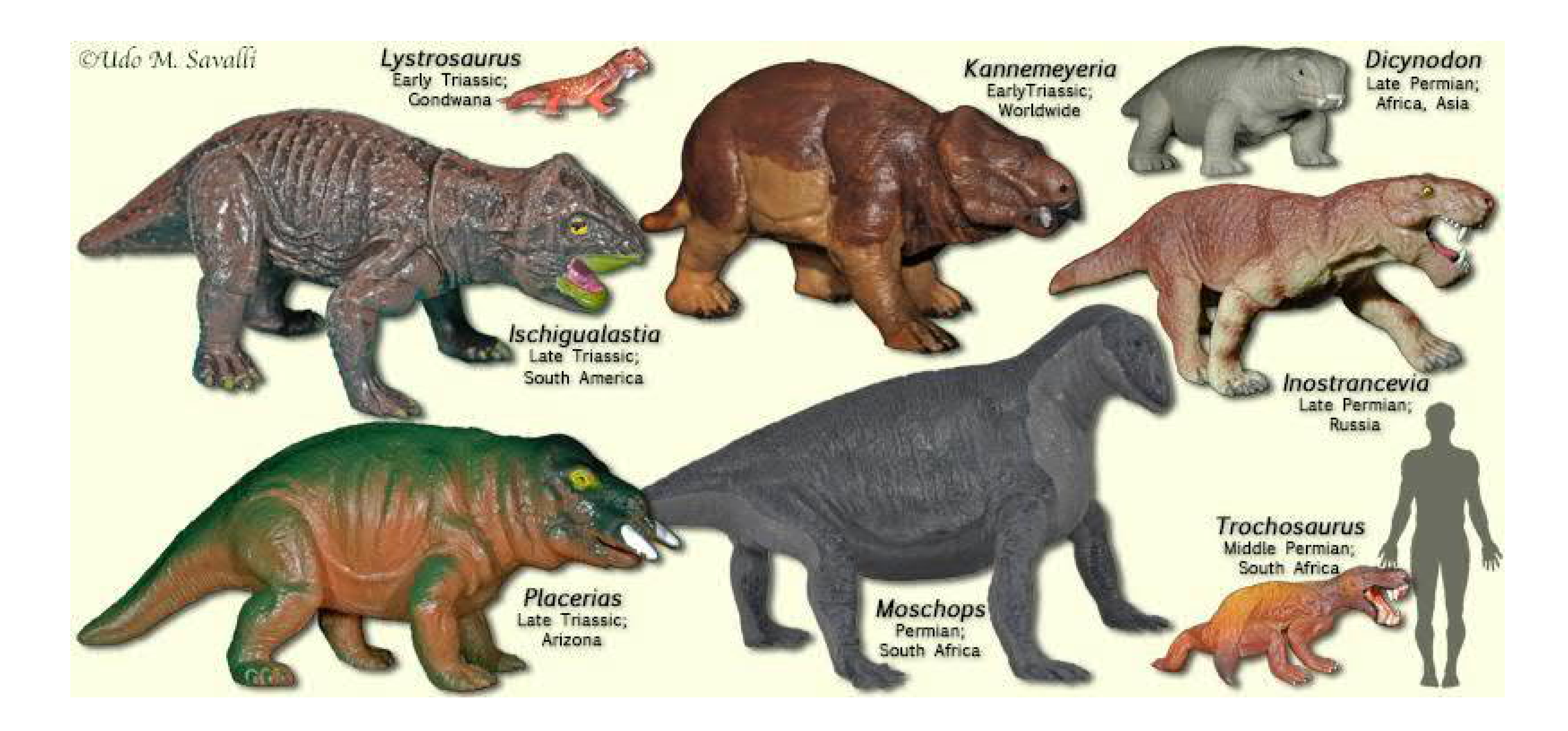
تطور وتشعب الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية من رتبة الثيرابسيديات الشبيه بالثدييات

Anomodonts: عديمات أو قليلات الأسنان، مجموعة منقرضة من الثيرابسيديَّات الغير ثديية احتوت على الكثير من الأنواع من العصر البرمي وحتى الترياسي (وربما استمرت حتى الطباشيري المبكر). معظمها كانت عواشب عديمة الأسنان تحول الفك فيها إلى شكل منقاري، ويرجَّح أنها كانت ثابتة مستقلة درجة الحرارة الداخلية. من بعد العصر البرمي الوسيط لم تنجُ من فصائلها سوى رتبة dicynodontia أو المعروفة بـ dicynodonts [ذوات السنين الشبيهين بأسنان الكلب] . وصارت تلك المجموعة الأخيرة أنجح وأوفر كل آكلات النباتات في العصر البرمي المتأخر والترياسي، وملأت كوات أو أدوار وطرق اعتياش بيئية تتراوح ما بين المرتعِيات الضخمة وحتى حافرات الجحور الصغيرة. وقد نجى القليل من فصائل ذوات السنين شبه الكلبيين من الانقراض البرمي الترياسي، لكن خط تحدر واحد فقط تطور إلى أشكال ضخمة سمينة قوية البنية هيمنت على آكلات النباتات البريَّة حتى العصر الترياسي المتأخر، حيث تغيرت الظروف مما أدى إلى انحدارها واضمحلالها.

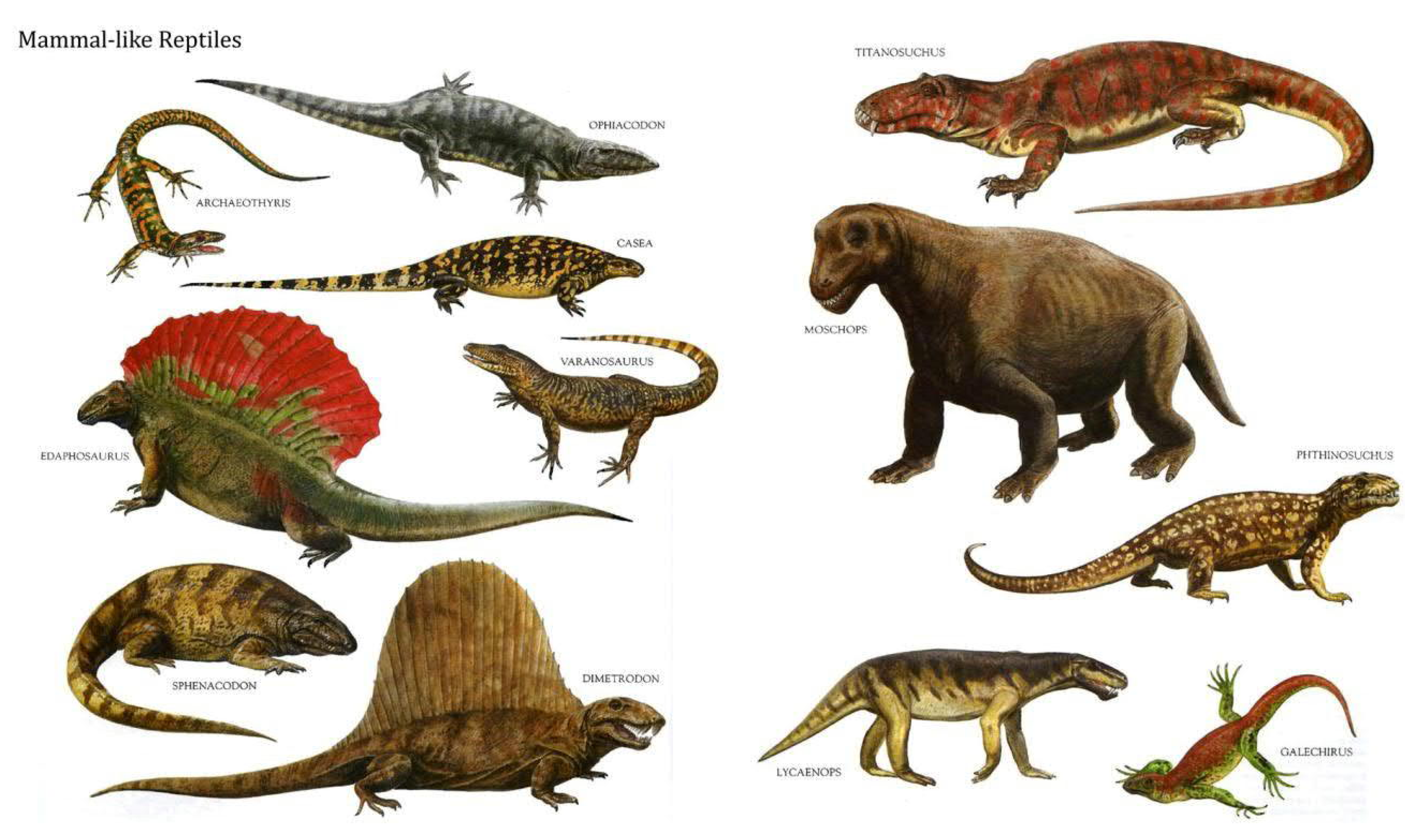
dicynodonts: ذوات السنين الشبهين بأسنان الكلب، وهي نوع من الثيرابسيديَّات قليلات الأسنان أو عديمتها anomodont therapsids، وكان أول ظهورها في العصر البرمي الوسيط، وصارت مهيمِنة في العصر البرمي المتأخر، واستمرت حتى العصر الترياسي، مع احتمال نجاة القليل من أنواعها حتى العصر الطباشيري المبكرة. وكانت آكلات نباتات ذوات نابين. وكانت أكثر الثيرابسيديَّات الغير ثديية نجاحًا وتنوعًا، فلها أكثر من ٧٠ جنسًا معروفًا، تتنوع من حجم الفأر إلى حجم الثور. وكانت جماجمها متخصصة للغاية، خفيفة وقوية، وكانت الفتحة الصدغية في مؤخر الجمجة كبيرة بدرجة كبيرة لتتلاءم مع عضلات فكية أكبر، وكانت مقدمة الجمجمة والفك السفلي عمومًا ضيقين، وفي كل الأشكال عدا عدد من الأشكال البدائية كانت عديمة الأسنان. وكان الفم مزودًا بمنقار قرني كما في السلاحف والديناصورات القرناء النباتية ceratopsian. وكان الطعام يمضغ بكمش الفك السفلي أثناء إغلاق الفم، مما ينتِج حركة جز قوية تمكنهن من التعامل مع المواد النباتية القاسية. وامتلكت الكثير من أجناسها أيضًا زوجًا من الأنياب. كان الجسد قويًّا قصيرًا ذا شكل برميلي، مع أطراف قوية. في الأجناس الكبيرة الأحجام منها _مثل_ كان الطرفان الخلفيان منتصبين، بينما الطرفان الأماميين مائلين للمرفق. وكان كل من الحزام الصدري وعظم الحرقفة كبيرين وقويين. وكان الذيل قصيرًا.

صور إعادات بناء لأشكال بعض أنواع الثيرابسيديات:

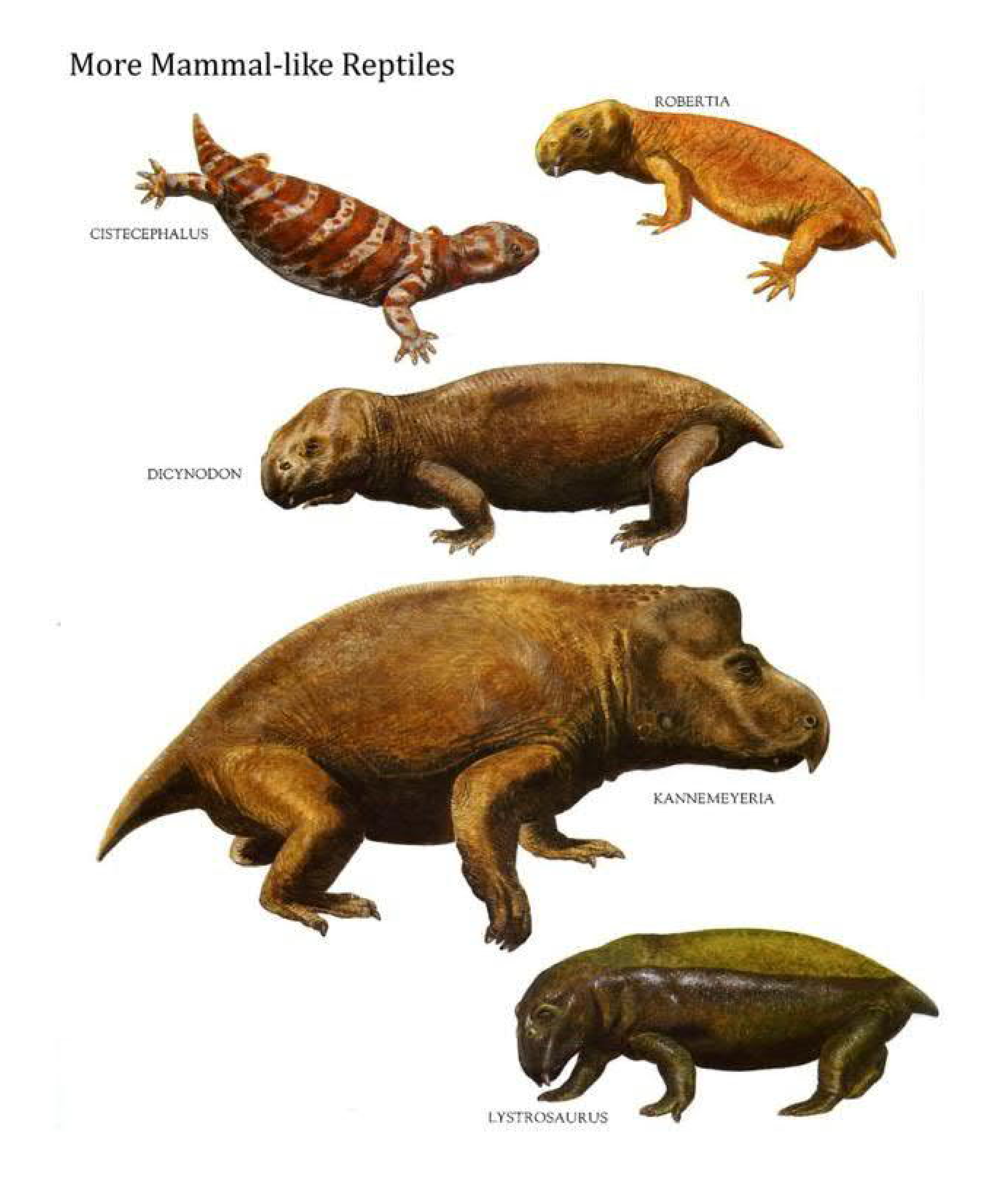




Mammal-like Reptiles



More Mammal-like Reptiles





MARCH OF THE MAMMALS

Ulemosaurus svijagensis

DROMASAURIA

DICYNODONTIA

Dromasaurus sp.

Stahleckeria potens

TAPINOCEPHALIA

VENYUKOVIAMORPHA

Lystrosaurus murrayi

Dicynodon grimbeeki

Venyukovia invisa

Diarthrognathus broomi

Lycosuchus vanderrieti

Struthiosaurus kitchingi

THEROCEPHALIA

DINOCEPHALIA

Bauria cynops

Estemmenosuchus uralensis

TRITHELEDONTIDS

CYNOGNATHIDAE

CARNIVOROUS CYNODONTIA

GALESAURIDAE

PROCYNOSUCHIDAE

Thrinaxodon liorhinus

EOTITANOSUCHIA

Procynosuchus delaharpeae

Cynognathus craternotus

Diademnodon tetragonus

HERBIVOROUS CYNODONTS

Titanophoneus potens

GORGONOPSIA

Lycaenops ornatus

Oligokyphus major

TRITYLODONTIDAE

Bienotherium yunnanense

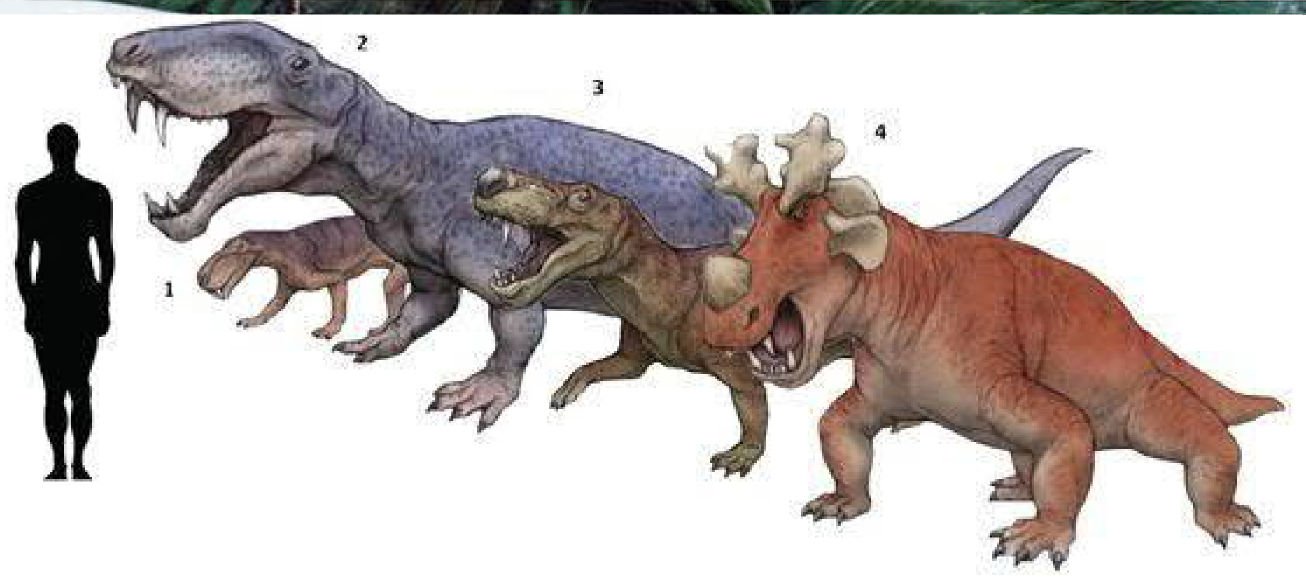
Dimetrodon grandis

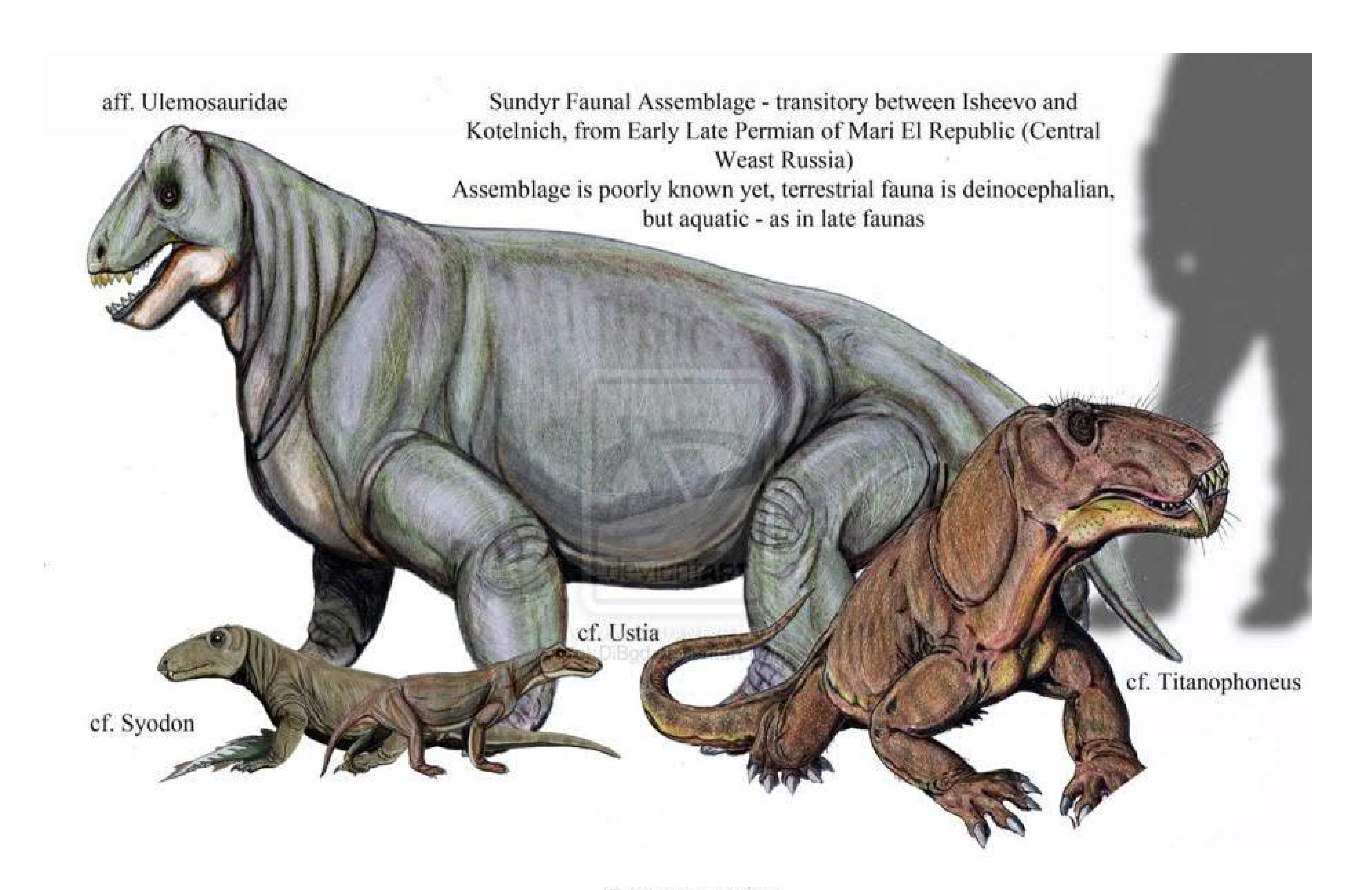
PELYCOSAURIA

Cotylorhynchus romeri

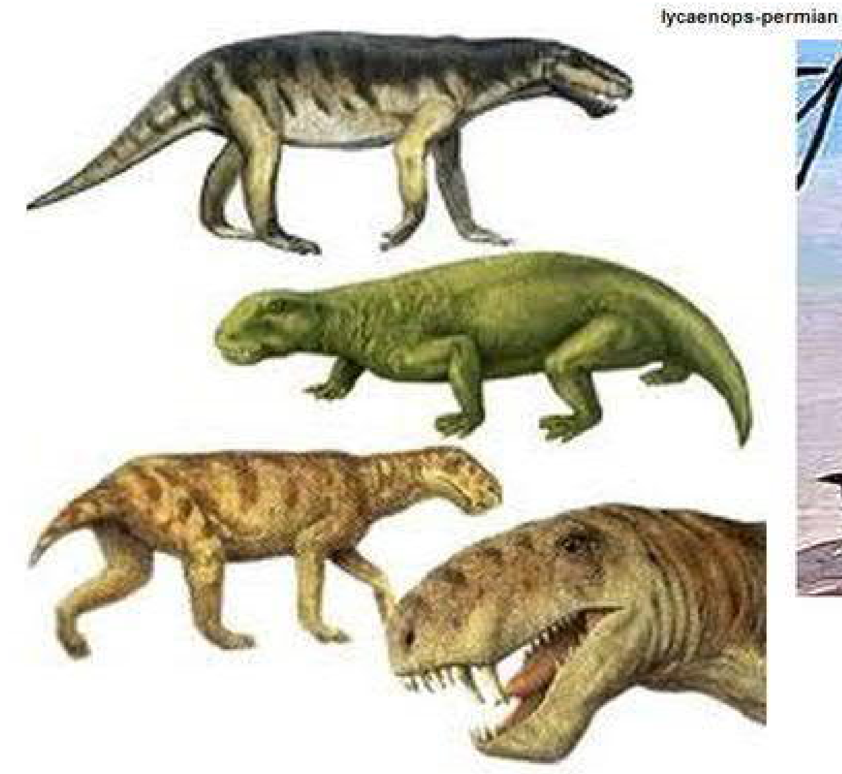
The therapsids, evolving over 90 million years from their pelycosaur ancestors (lower left), developed along two major lines. One, the amonodonts (purples, blues), produced a variety of herbivores that ranged from delicate and large-eyed dromasaurs to hulking dinocephalians, tapinocephalids and dicynodonts. The other line, the theriodonts (pinks, rust), yielded fierce carnivorous therocephalians, gorgonopsians

Diagram by Mark Hallett

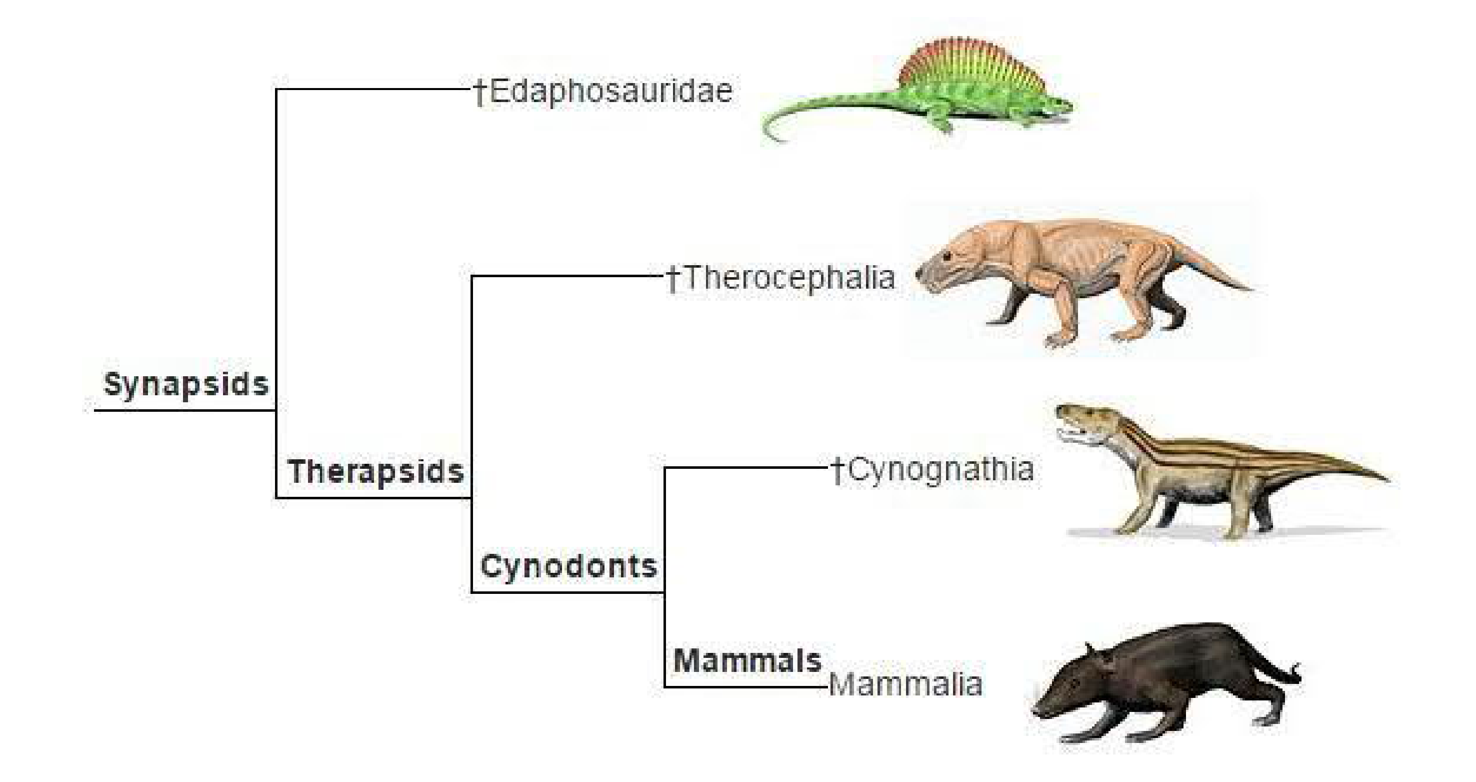


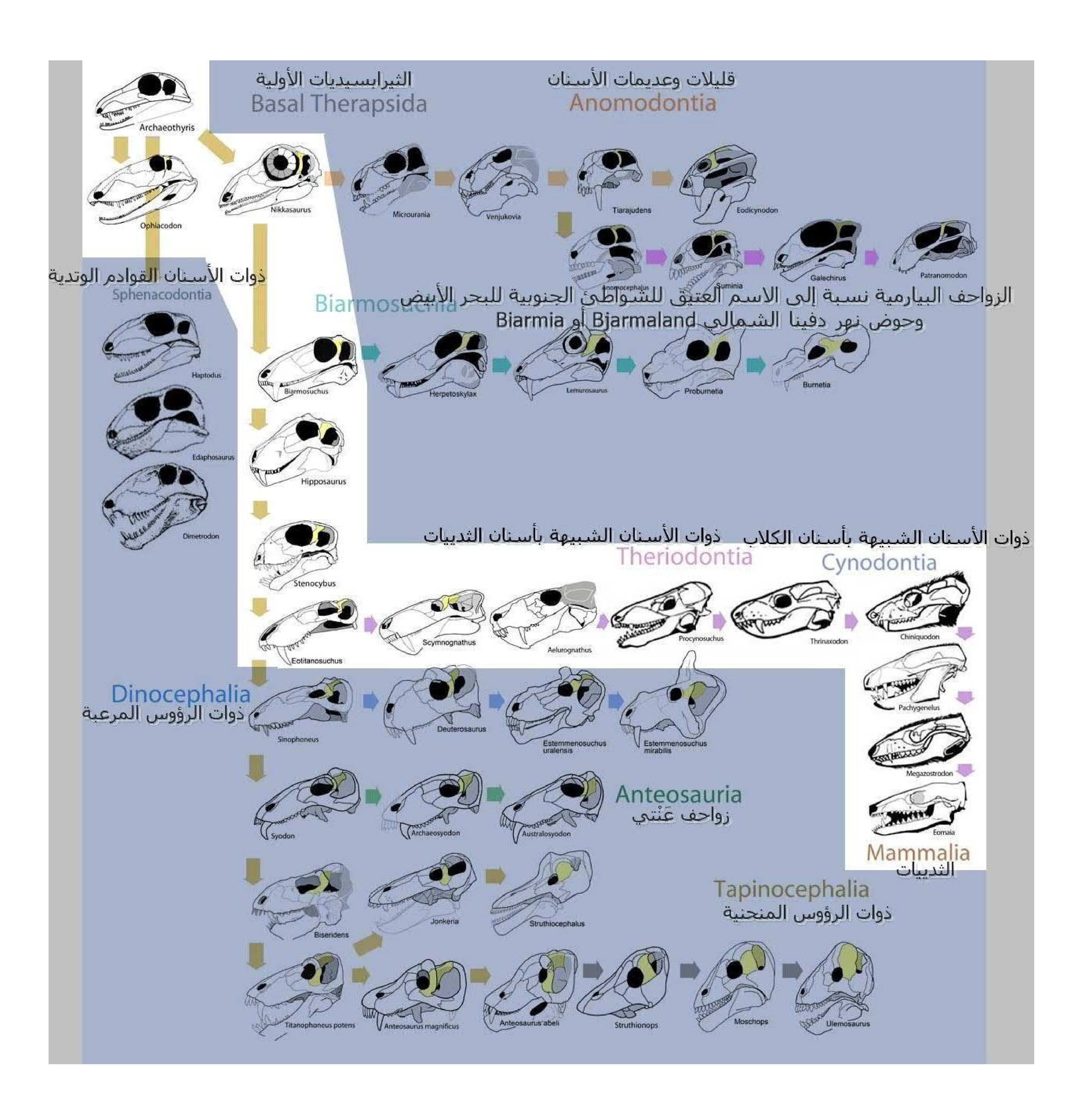


lycaenops-permian









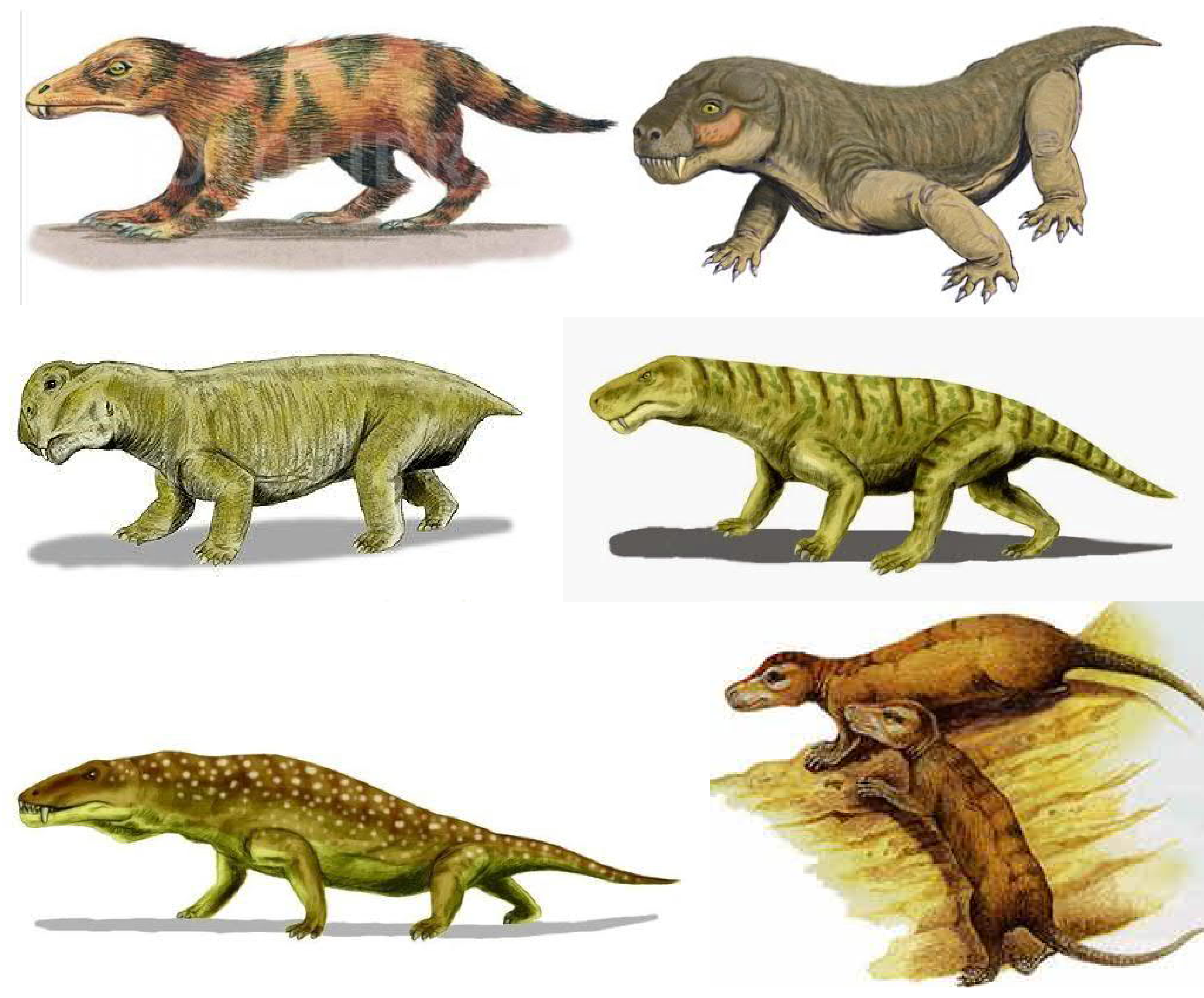
الثيرابسيديات الأولية
Basal Therapsida
قليلات وعديمات الأسنان
Anomodontia
Archaeothyris
Ophiacodon
Nikkasaurus
Microurania
Venjukovia
Tiarajudens
Eodicynodon
Anomocephalus
Suminia
Galechirus
Patranomodon
ذوات الأسنان القوادم الوتدية
Sphenacodontia
Biarmosuchia
الزواحف البيارمية نسبة إلى الاسم العتيق للشواطئ الجنوبية للبحر الأبيض
وحوض نهر دفينا الشمالي Bjarmaland أو Biarmia
Haptodus
Edaphosaurus
Dimetrodon
Biarmosuchus
Herpetoskylax
Lemurosaurus
Proburnetia
Burnetia
Hipposaurus
Stenocybus
ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الثدييات
Theriodontia
ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلاب
Cynodontia
Eotitanosuchus
Scymnognathus
Aelurognathus
Procynosuchus
Thrinaxodon
Chiniquodon
Pachygenelus
Megazostrodon
Eomaia
Dinocephalia
ذوات الرؤوس المرعبة
Sinophoneus
Deuterosaurus
Estemmenosuchus uralensis
Estemmenosuchus mirabilis
Syodon
Archaeosyodon
Australosyodon
Anteosauria
زواحف عَنْتي
Mammalia
الثدييات
Biseridens
Jonkeria
Struthiocephalus
Tapinocephalia
ذوات الرؤوس المنحنية
Titanophoneus potens
Anteosaurus magnificus
Anteosaurus abeli
Struthionops
Moschops
Ulemosaurus

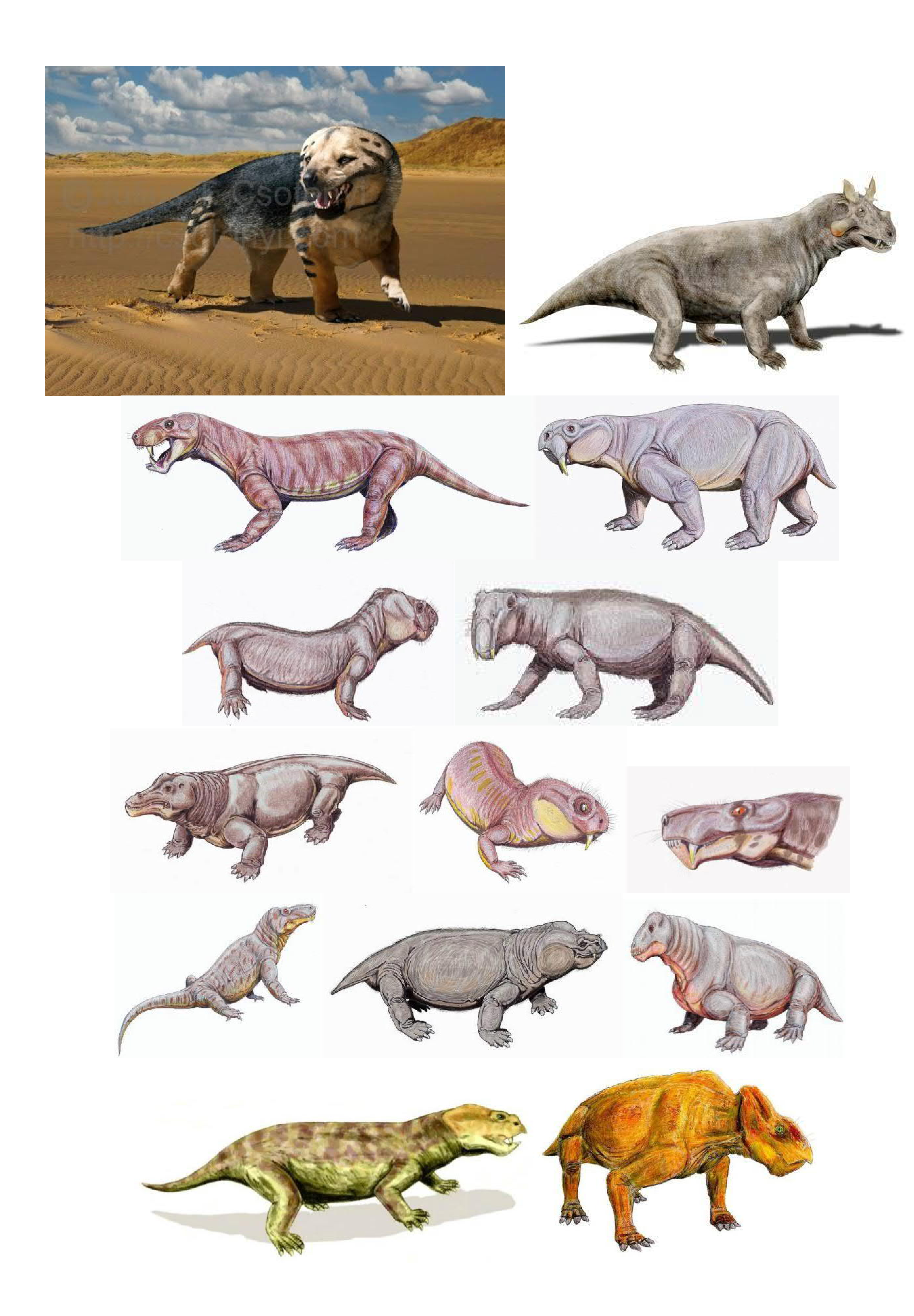
Charassognathus 1
Procynosuchus 3
Dvinia 2
Cynosaurus 4
Progalesaurus 5
Galesaurus 6
Nanictosaurus 7
Thrinaxodon 8
Platycraniellus 9
Cynognathus 30
Diademodon 31
Beishanodon 32
Sinognathus 33
Trirachodon 34
Cricodon 35
Langbergia 36
Pascualgnathus 38
Andescynodon 37
Scalenodon angustifrons 39
Luangwa 40
Traversodon 41
'Scalenodon' attridgei 42
'Scalenodon' hirschoni 43
Nanogomphodon 44
Arctotraversodon 45
Boreogomphodon 46
Massetognathus 47
Dadadon 48
Santacruzodon 49
Menadon 50
Gomphodontosuchus 51
Protuberum 52
Scalenodontoides 53
Exaeretodon 54
Lumkuia 10
Ecteninion 11
Aleodon 12
Chiniquodon 13
Probainognathus 14
Trucidocynodon 15
Therioherpeton 16
Riograndia 17
Diarthrognathus 18
19 Pachygenelus
Elliotherium 20
Chaliminia 21
Brasilodon 23
Brasilitherium 22
Morganucodon 24
Sinoconodon 25
26 Oligokyphus
27 Kayentatherium
29 Tritylodon
Bienotherium 28

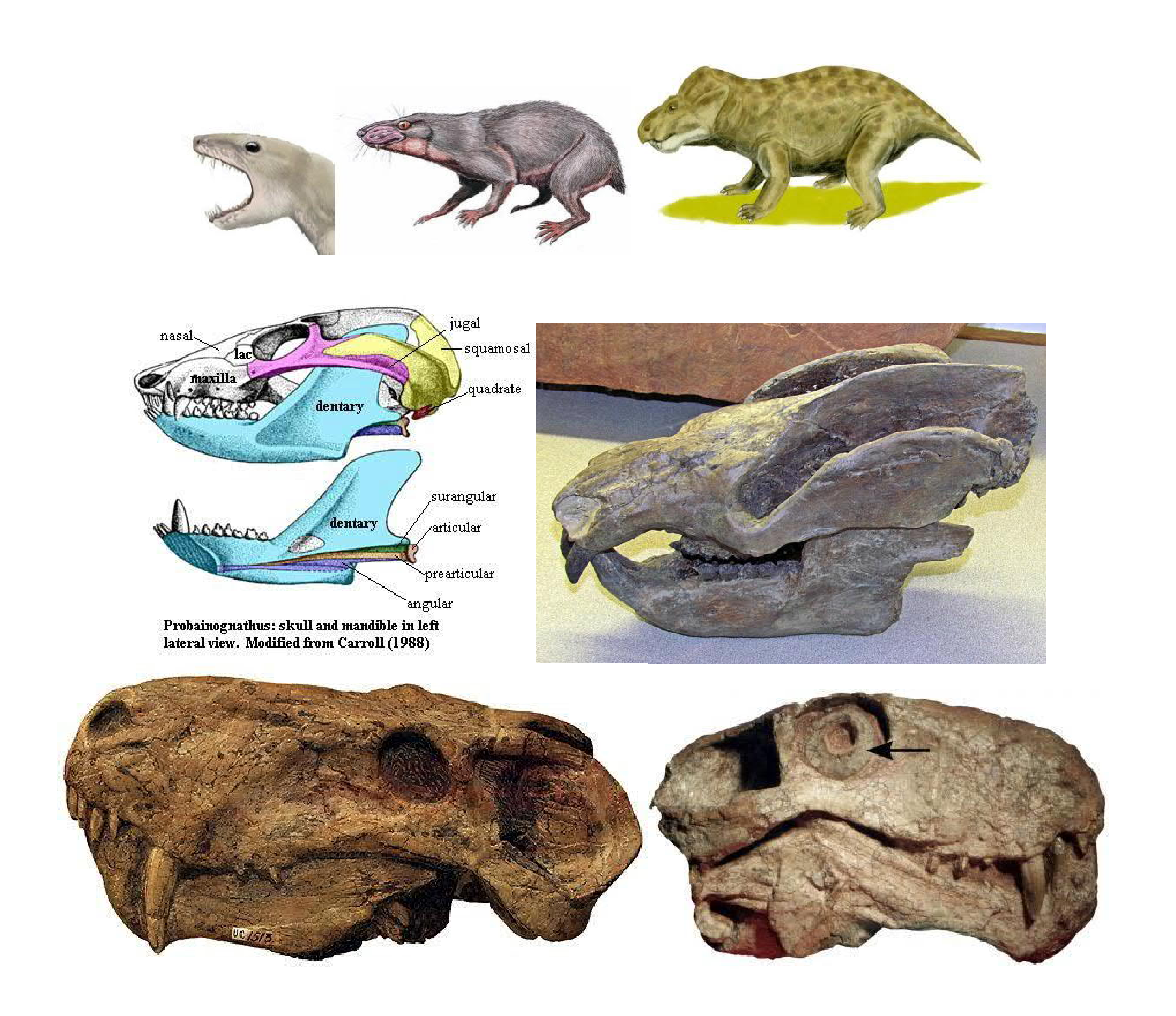
EPICYNODONTIA
CYNOGNATHIA
PROBAINOGNATHIA
TRITHELEDONTIDAE
MAMMALIA
TRITYLODONTIDAE

Procynosuchus
Thrinaxodon
Massetognathus
Probainognathus
Morganucodon
Oligokyphus

L. PERMIAN | E. TRIASSIC | MIDDLE TRIASSIC | LATE TRIASSIC | EARLY JURASSIC
WUC | CH IND | OLE | ANS | LAD | CRN | NOR | RHT | HET | SIN | PLB
Myr 252.6 246 241 235 228 208 202 197 190 183







الـ Dinocephalians [ذوات الرؤوس المرعبة]

تحركت Dinocephalians [ذوات الرؤوس المرعبة] على نحو أفضل بكثير من البليكوسورات. وكان عمودها الفقري صلبًا تمامًا، وكان طول الأطراف والخطوات أطول مما في البليكسورات. كان الطرفان الأماميان لا يزالان مفرشحين [متباعدين]، لكن الطرفان الخلفيان كانا متموضعين على نحو أقرب إلى حد ما من العمودي، مقوّيًا من المشي ذي نمط عجلة اليد الذي وصفناه من قبل فيما يتعلق بالبليكوسورات.

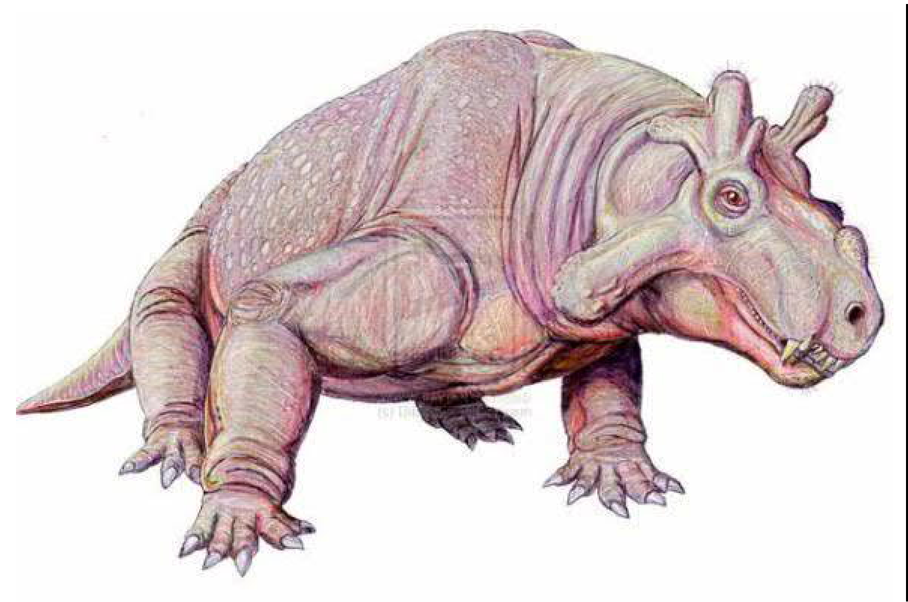
صارت ذوات الرؤوس المرعبة ضخمة جدًا. وانتشرت من روسيا حتى جمهورية جنوب أفريقيا. امتكلت جماجم ضخمة و _ككل الثيرابسيديَّات_ امتلكت أنيابًا قوية. وامتلكت أيضًا قواطع متطورة جيدًا والتي بدت فعالة وهامة في التغذية على السواء. امتلكت ذوات الرؤوس المرعبة أسنانًا أمامية غير عادية، فقواطعها العلوية والسفلية، وأحيانًا أنيابها كذلك، كانت تتداخل على طول خط عند إغلاق الفم، مشكِّلة صف أسنان متعرج مرعب كان يقضم قطع الطعام وكذلك يخرِق ويمزِّق (مثال في الصورة ١٠- ١٤).

كانت أبكر الـdinocephalians [ذوات الرؤوس المرعبة]، وهي الـanteosaurs [فصيلة زواحف عنتي أو أنتايوس الأمازيغي] لواحم مفترِسة ذوات جماجم يصل طولها إلى متر. ومثل ذوات الأنياب الوتدية sphenacodonts، قتلت فرائسها على نحو رئيسي بإغلاق الأسنان الأمامية الحادة الطويلة عليهن بعنف، ومن ثم ممزِّقة ومخترِقة. وعلى نحو واضح فقد كانت الأسنان الخلفية لا تُستعمَل كثيرًا جدًّا، فقد كانت أقل وأصغر مما في الزواحف وتدية الأسنان sphenacodonts.

معظم مرعبات الرؤوس الأخرى، وهي الـtapinocephalians [ذوات الرؤوس المنحنية أو المتواضعة] تبدو لواحم مفترسة لأول وهلة من النظرة الأولى (الصورة ١٠– ١٤)، ذوات أنياب كبيرة وقواطع كبيرة في مقدمة الفك. لكن لها خطمًا عريضًا شبيهًا بالذي لفرس النهر، وصف كبير من الأسنان الخلفية المسطحة، وأجسادها كانت ضخمة ذوات قفص صدري شبيه بالبرميل مما يعني أنه احتوى بالتأكيد على معدة رحبة. ربما كانت هذه الحيوانات قارتة [تأكل النباتات واللحوم]، لكن المرجَّح أكثر أن القواطع كانت أسنانًا قاصَّة قاطعة تُستعمَل للنباتات، وكانت الأنياب للصراعات، وليست أسلحةً للافتراس (انظر مثلًا لداخل فم فرس النهر في وقتٍ ما). قام الفك بمعظم الجهد عند إغلاقه، لأجل مضغ كفؤ بدلًا من الإغلاق العنيف.

كانت بعض الـtapinocephalians [ذوات الرؤوس المنحنية] غريبة المظهر بوضوح، ذوات قرون، وامتلك البعض منها _على الأرجح ذكور_ حواف حادة عظمية كبيرة على الخدود (الصورة ١٠– ١٤). امتلكت كل ذوات الرؤوس المنخفضة عظامًا جمجية سمية، أحيانًا وصلت إلى سُمك ١١ مليمتر (نصف بوصة). اقترح Herbert Barghusen في عام ١٩٧٥م أن الأفراد تناطحت برؤوسها، ربما لترسيخ الهيمنة في المجموعة. تميل آكلات النباتات كبيرة الأحجام في العصر الحاليّ إلى الصراع بتناطح الرؤوس أو الدفع، بينما تميل مفترِسات العصر الحالي السريعة الرشيقة إلى استعمال المخالب والأسنان عندما تتقاتل. لقد كانت أوائل الثيرابسيديَّات _حتى المفترِسة اللاحمة منها_ ثقيلة الوزن والحركة، وامتلكت أطرافًا مفرشحة كانت متكرسة ومخصَّصة للغاية لدعم وزنهن بحيث لم يستطعن استعمال المخالب كأسلحة.



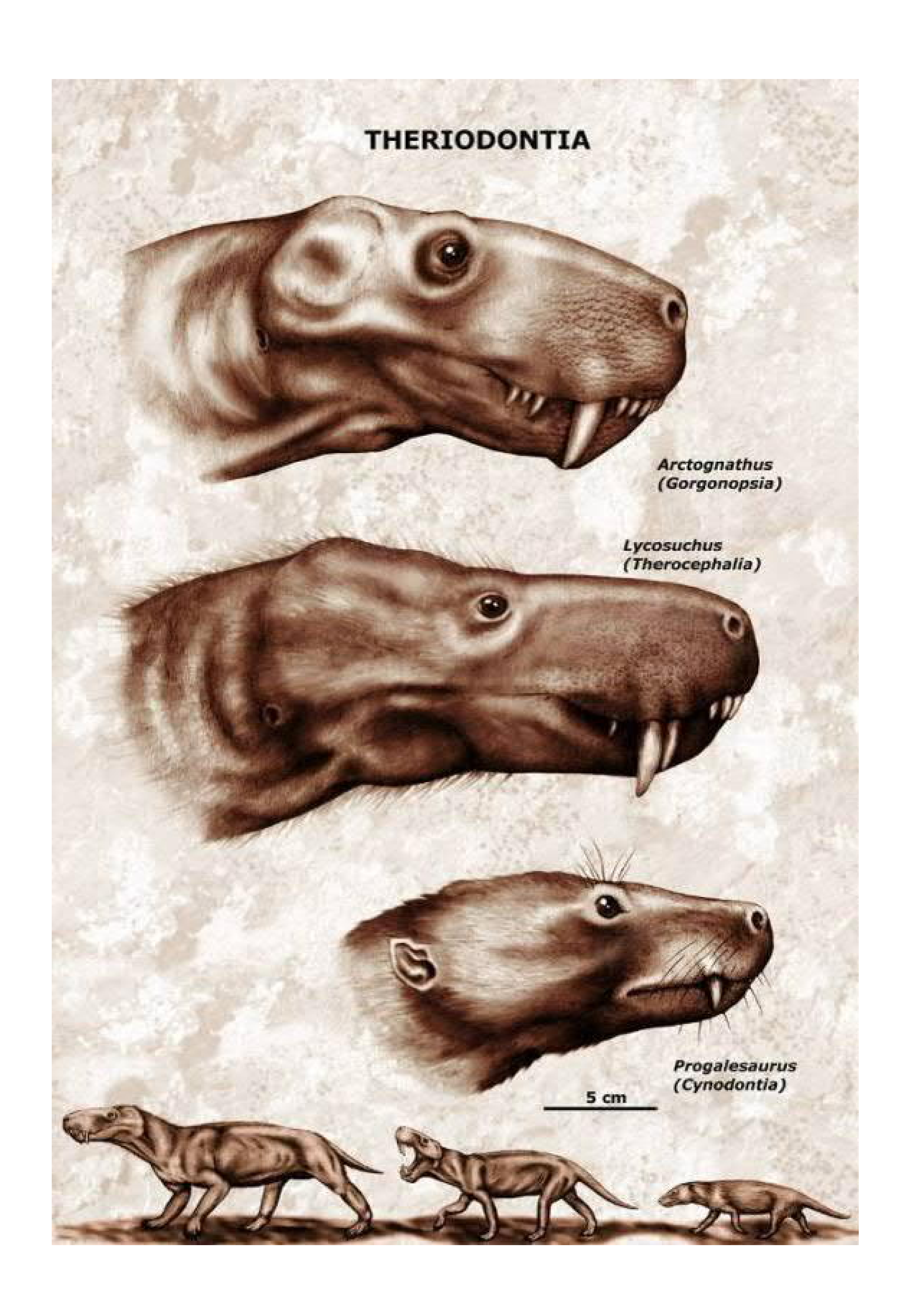




الصورة ١٠– ١٤ امتلكت Tapinocephalians [ذوات الرؤوس المنخفضة أو المتواضعة] أنيابًا كبيرة، على الأرجح للاستعراض والتقاتل عوضًا عن التغذية والافتراس. امتلك Estemmenosuchus [يعني اسمه الزاحف المُتَوَّج] _من العصر البرمي المتأخر في روسيا_ أيضًا حوافًا حادة غريبة الشكل على جمجمته والتي ربما كانت تُمَيِّز الذكور [كنوع من تباين شكل الجنسين].

الثيرابسيديَّات Therapsids المتطورة

أنتج التطور السريع للثيرابسيديَّات موجةً جديدة من الأشكال المتطورة عبر أنحاء العالم في العصر البرمي المتأخر. كانت تلك هي الـ theriodonts [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الثدييات] والـ anomodonts [عديمات أو قليلات الأسنان]. كانت theriodonts ذوات الأسنان الشبه ثديية كلها لواحم مفترِسة، ذوات خطوم مسطحة منخفضة وفكوك كفؤة جدًّا.



سُمِّيَت ذوات الوجوه الجورجونيَّة gorgonopsians _وهي من ضمن ذوات الأسنان الشبيهة بالثديية theriodonts_ بهذا الاسم لأجل مظهرها الضاري الشرس، نسبة لوحش الجورجونة الجريكية الخرافية. لقد كانت اللواحم المهيمِنة الضخمة في العصر البِرْميّ المتأخر. كانت ذوات الوجوه الجورجونيَّة لواحم متخصصة في افتراس الفرائس كبيرة الأحجام. كانت حركة قتلها بالأسنان السيفية (الصورة ١٠– ١٥) تتضمن بوضوح فتحة فك واسعة وحركة إغلاق عنيف تدفع الأسنان النابية عميقًا في الفريسة. كانت القواطع قوية، لكن الأسنان الخلفية كانت صغيرة ولا بد أنها كانت عديمة الفائدة عمليًّا. كان الخطم قصيرًا حقًّا، لكنه عميق على نحوٍ كافٍ لحمل جذور الأنياب. كانت الأطراف طويلة ونحيلة تمامًا، ولا بد أن الجورجونيَّات كانت رشيقةً نسبيًّا. كانت الجمجة بطول خمسين سم فقط في أكبر ذي وجه جورجوني معروف، ولم يكن متطلَّبًا من الأطراف حتى في البالغين أن تكون مجرد حاملة للوزن فقط كما قد كانت في الثيرابسيديات الأبكر. بالتالي أمكن للمفاصل أن تكون أخف بنيةً، وحُسِّنت مجمل القدرة على الحركة. وأمكن للطرفين الخلفيين أن يتأرجحا في وضع منتصب، وكانت أطوال الخطوات أكبر، وكانت القدم أخف، كل ذلك في الإجمال يدل على سرعة أكبر. لم تنخرط في مضغ كثير، بل ببساطة مزقت قطعًا كبارًا من الفريسة التي كانت أكبر من أن يمكن أكلها بقضمة واحدة (كما تفعل التماسيح والقروش هذا أيضًا في العصر الحالي). كان لأسنانها الأمامية شرشرات عليها لتشرِّح عبر العضلات والأوتار.

الصورة ١٠ –١٥ كان Ivantosaurus _أو المعروف كذلك باسم Eotitanosuchus [يعني اسمه الثاني زاحف فجر التاريخ الضخم]_ زاحفًا من ذوات الأسنان الشبيهة بالثديية theriodont من روسيا، ذا أسنان سيفية بطول حوالي ١٠ سم (٤ بوصات). وهي صفة استمرت في ذوات الوجوه الجورجونيّة gorgonopsians. إلا أنه كان بدائيًا من جهة كون فتحة صدغه صغيرة مما أعطى عضة ضعيفة.

Cynodonts ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب

Cynodonts ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب هي فرع تطوري من الثدييات ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الثدييات theriodonts. لقد ظهرت قرب نهاية العصر البرمي وبقي خطا تحدر منها حيين وازدهرا في العصر الترياسي، وتطور أحد الخطين إلى إسلاف الثدييات عند نهاية العصر الترياسي. وفي حد ذاتها، كانت ذوات الأسنان شبه الكلبية حيواناتٍ هامة صغار ومتوسطات أحجام الأجساد في العصر الترياسي والتي انتشرت عبر كل قارة جُنْدُوَانا. أدَّتْ "ابتكاراتها" التطورية في معالجة الطعام (وخاصة زيادة المضغ) إلى تطور الكثير من سمات الفكوك والأسنان والجماجم التي تُعتبَر في العصر الحالي على أنها "ثديِيَّة". اعتيد على وصف Cynodonts ذوات الأسنان شبه الكلبية بأنها أكثر الزواحف شبهًا بالثدييات، وذلك لأسباب وجيهة. وسوف ندرسها في الفصل ١٥.

Anomodonts قليلات أو عديمات الأسنان

Anomodonts قليلات أو عديمات الأسنان هي مجموعة من الزواحف الثيرابسيديَّة therapsids تطورت في العصر البِرْمِيّ المتأخر. كانت مجموعة dicynodonts ذوات السنين الشبهين بأسنان الكلب إلى حد كبير أهم قليلات الأسنان anomodonts وكانت آكلات النباتات المهيمِنة في العصر البرمي المتأخر. لقد كانت أول آكلات نباتات وافرة الأعداد على مستوى العالم حقًّا. إنها تمثل ٩٠% من عينات متحجرات الزواحف الثيرابسيديَّة therapsid والكثير من تنوع الثيرابسيديَّات المحفوظ في صخور العصر البرمي المتأخر. لقد كانت أقدم dicynodonts ذوات السنين الشبيهين بأسنان الكلب متخصصة للغاية بالفعل كآكلات نباتات منذ ظهورها الأول بحيث أنها لا تُبدي تشابهًا وثيقًا بمجموعات الثيرابسيدِيَّات الأخرى ويصعُب تصنيفها. امتلكت dicynodonts ذوات السنين شبه الكلبيين المبكرة حنكًا ثانويًّا، بالتالي استطاعت التنفس والمضغ في نفس الوقت.

في عصر أوج ازدهارها، عاشت دستات من أنواع ذوات السنين شبه الكلبيين في قارة جندوانا القديمة، وظلوا على قيد الحياة لفترة طويلة في العصر الترياسي. لقد اختلفت عن باقي مجموعات الثيرابسيديَّات الأخرى في امتلاكها خطومًا قصيرة جدًّا، وفقدت كل أسنانها تقريبًا ما عدا الأنياب العلوية الشبيهة بالأنياب الخارجة الطويلة، والتي استُعْمِلَتْ على الأرجح للاستعراض والقتال بدلًا من الأكل (الصورة ١٠– ١٦). ولأنه لم يكن لديها أسنانًا ماضغة، فلا بد أن الفكين امتلكا نوعًا ما من المنقار القرني (كالخاص بالسلاحف) لقص وتمزيق قطع من النباتات عند مقدم الفك وطحنها على الفك الثانوي الأقرن بينما كان الفم مغلقًا. كان مفصل الفك ضعيفًا، وتحرك إلى الأمام والخلف في حركة تقطيع بدلًا من الحركة إلى الجانبين أو إلى أعلى وأسفل. وكجزء من هذا النظام، كان التعضل الفكي غير اعتيادي الشكل، متموضعًا إلى الأمام جدًّا على الفك، وشاغلًا حيزًا كبيرًا على قمة ومؤخرة الجمجمة. هذه السمات الفكية الغير اعتيادية كان لها تأثيرها على مجمل شكل الجمجمة، والتي كانت قصيرة إلا أنها مرتفعة وعريضة، شبيهة بالصندوق تقريبًا. أدَّتْ روابط العضلات الممتدة إلى جعل العينين متموضعتين إلى الأمام جدًّا نسبيًّا على وجه قصير. يبدو أن ذوات السنين الشبيهين بأسنان الكلب قصت وحصدت النباتات القاسية نسبيًّا بمناقيرها، ثم طحنتها بحركة لف في الفم. وكما في عواشب أخرى، كانت الأجساد ضخمة، ذوات أطراف قصيرة قوية (كمثل الصورة ١٠– ١٢).

الصور ١٠– ١٦ كان لل dicynodonts [ذوات السنين الشبهين بأسنان الكلب] وجوه ذوات مظهر غريب بسبب نمط بنية فكها. هذا هو النوع Dicynodon وامتلك جمجمة طولها ١٥ سم (٦ بوصات).

كان نجاح dicynodonts ذوات السنين شبه الكلبيين مذهلًا. كان معظمها صغار الأحجام، ولو أنها تراوحت أحجامها من حجم الفأر إلى حجم البقرة. لعل حقيقة أن بنيوات أو تراكيب التغذية القرناء الخاصة بها كانت تُستبدَل وتُجدَّد باستمرار خلال حيواتها له علاقة كبيرة بنجاحها. إن الزواحف ذوات الأسنان تستبدلها خلال حياتها، لكن على نحو متقطع، لذلك يصعُب عليها تحقيق وجود صفوف أسنان فعالة باستمرار. طورت الثيرابسيديَّات الأخرى أسنانًا قاطعة وطاحنة كفؤة، لكنها بالفعل كانت تَبْلَى مع الاستعمال القاسي والطويل.

تنوعت أشكال فكوك ذوات السنين شبه الكلبيين كثيرًا بسبب أنظمتها الغذائية المختلفة. كان بعضها ذا فكوك قاصَّة وفكوك ساحقة، ربما لأجل البذور الكبيرة، وكان الكثير منها مُرْتَعِيات. وكان البعض منها متخصصًا في نبش ونزع الجذور، وبعضها في حفر الحفر، ولو أنها تظل كلها نباتية. في اكتشاف رائع في جمهورية جنوب أفريقيا، عُثِر على هياكل عظمية لنوع ذي سنين شبه كلبيتين dicynodont صغير الحجم في قعور جحور حلزونيّة معقَّدة مُتْقَنة (الصورة ١٠– ١٧).



الصورة ١٠– ١٧ عُثِر على العديد من عينات متحجرات هذا الـ Diictodon [ذي السنين الشبيهين بأسنان العرسة] ذي السنين شبه الكلبيين الصغير الحجم هذا من العصر البرمي متحجرة داخل جحورها. العلامات التي تبدو على نحو مثير للشك مثل الشعر على هذه العينة هي في الحقيقة خربشات الإبر المستعملة في تنظيف العظام المتحجرة من الصخر حولها. من متحف جمهورية جنوب أفريقيا بتكرمٍ من دكتُر Dr. R. M. H. Smith.



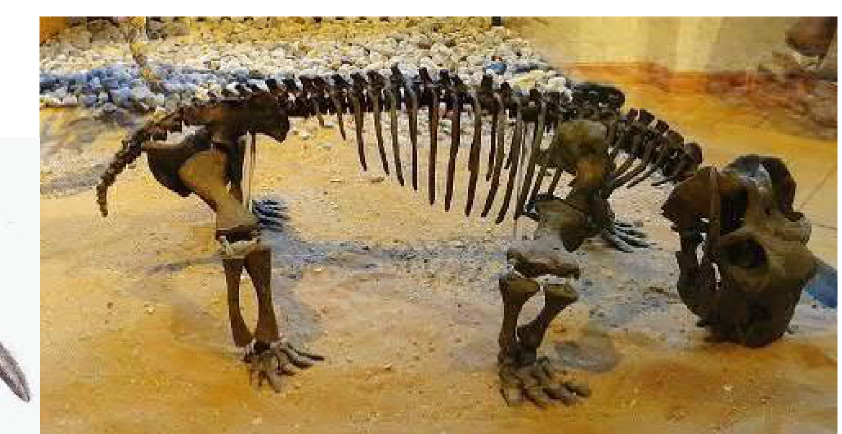
متحجرات أخرى لـ Diictodon

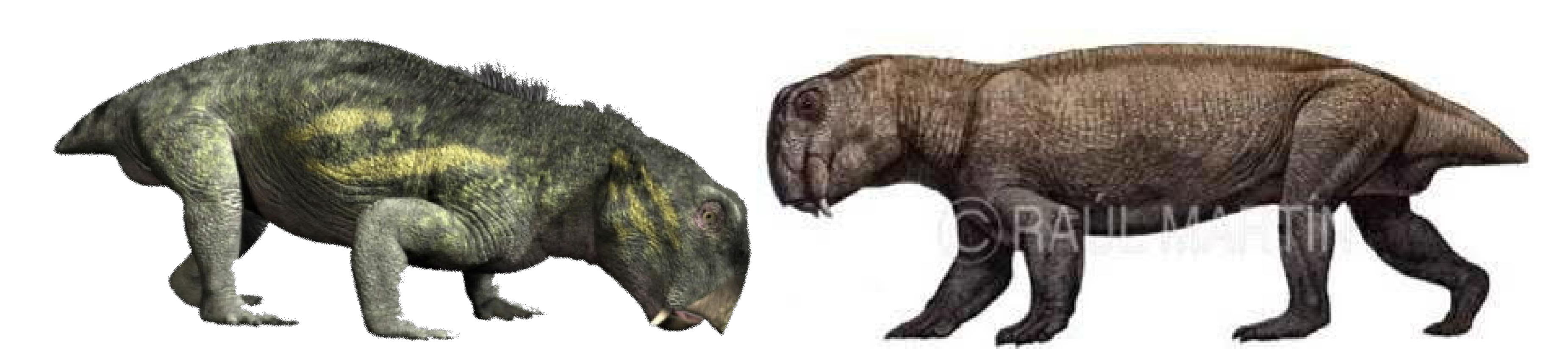


إعادة بناء لـ Diictodon

يوحي المدى الواسع للتخصص [للانتواع] ضمن dicynodonts ذوات السنين الشبهين بأسنان الكلب أن المناخ كان معتدلًا بدرجة معقولة وكان إمداد الغذاء يُعتمَد عليه في ذلك الزمن، رغم وجودها في خطوط عرض عالية ووجود تقلبات موسمية حتميّة. كانت معظم dicynodonts في العصر البرمي صغيرة الأحجام، ذوات جماجم بطول حوالي ٢٠ سم (٨ بوصات). ربما كان الكثير منها صغيرة الأحجام لكي تستطيع حفر الجحور لتجنب التغيرات الموسمية في درجة الحرارة وإمداد الغذاء.

اضمحلت dicynodonts ذوات السنين الشبهين بأسنان الكلاب على نحو فجائي عند نهاية العصر البرمي، لكن القليل من خطوط التحدر استمرت، وكثيرًا ما كان ذلك بأعداد كبيرة. إن أشهر ذي سنين شبه كلبيتين من بينها جميعًا هو نوع متخصص جدًّا من أوائل العصر الترياسي، وهو Lystrosaurus [يعني اسمه بالجريكية الزاحف ذو الفك الشبيه بالمجرفة]. لقد عُثِرَ على عيناتٍ له في الهند والقطب الجنوبي وجمهورية جنوب أفريقيا وجنوبي الصين، وقد ساعد توزعُه ولا يزال يساعد في تحديد شظايا أو أجزاء قارة جندوانا القديمة.





بعض متحجرات وأنواع Lystrosaurus

صارت أنواع أخرى من ذوات السنين الشبه كلبيين ضخمة على نحو غير معتاد، وذوات أرجل قصيرة وجذوع أشبه بالبرميل. في العصر الترياسي المتأخر، نما بعضها إلى حجم وحيد القرن (الصورة ١٠– ١٢) ولا بد أنها كانت بطيئة الحركة جدًّا. ربما كانت نظائر إيكولُجية للباندا اللضخمة أو الجورِلات [الغوريلات] أو الكسلان الأرضي المنقرض. لقد فقدت أواخرها حتى نابيها، والتي ربما كانت تُستعمَل قديمًا ذات مرة للاستعراضات المرئيّة. ربما بناء على ذلك كانت أواخر dicynodonts ذوات النابين شبه الكلبيين الثقيلة الوزن والحركة حيواناتٍ تنشط ليلًا أو تختبئ في وسط النباتات الأرضية الكثيفة النامية في غابة، مضطرةً إلى ذلك بفعل التنافس مع زواحف أكثر تقدمًا. في مشهد كئيب أعاد تصوره العالِمُ C.E. Gow في عام ١٩٧٨م قال: *"هكذا انقرضت ذوات النابين شبه الكلبيين، كامنةً في نصف ظُلْمةٍ في أعماق وسط الشجيرات ومغامرةً بالخروج للتغذي عند الليل فقط. لقد نالت الزواحفُ الحاكمةُ archosaurs السيادَةَ".*

حلول الزواحف ذوات الثقبين الصدغيين Diapsids محل الزواحف وحيدات الفتحة الصدغية Synapsids في الكوات البيئية أو طرق الاعتياش

مع ضخامة أجساد الثيرابسيديَّات عمومًا، فإن تشعبها إلى آكلات نباتات ولواحم ذوات أحجام متنوعة، و"تجاربها" مع القرون والحواف الحادة والثقاتل، فإن مجتمَع الثيرابسيديَّات في العصر البرمي عند النظر من بعيد ما كان ليبدو غريبًا بالكامل على عالمِ إيكولُجِي [إحاثة] معاصر، وخاصة إيكولجي معتاد على الثدييات الكبيرة الأحجام في السافانا الأفريقية. رغم ذلك، فإن المقارنة لن تصمد أمام التفحص عن كثب. لقد كانت مفترِسات العصر البرمي أكبر وأكثر تنوعًا بكثير من المفترِسات الأفريقية المعاصرة، وطبيعة حركة كل الثيرابسيديَّات البرمية كانت ثقيلة بطيئة.

لكن مجتمع العصر البرمي المتأخر لم يكن سيبدو أكثر غرابةً من مجتمع العصر الترياسي. فلم تكن مجموعات الحياة الحيوانية قد تطورت لتبدو أشبه بالثدييات. عوضًا عن ذلك، استُبدِلَتْ الثيرابسيديَّات بالزواحف الحاكمة المهيمِنة ثنائية الفتحات الصدغية، والتي كانت قد تطورت من أسلاف بِرْمِيَّة مختلفة تمامًا.

الفصل الحادي عشر

انقلاب العصر الترياسي (أو الثلاثي)

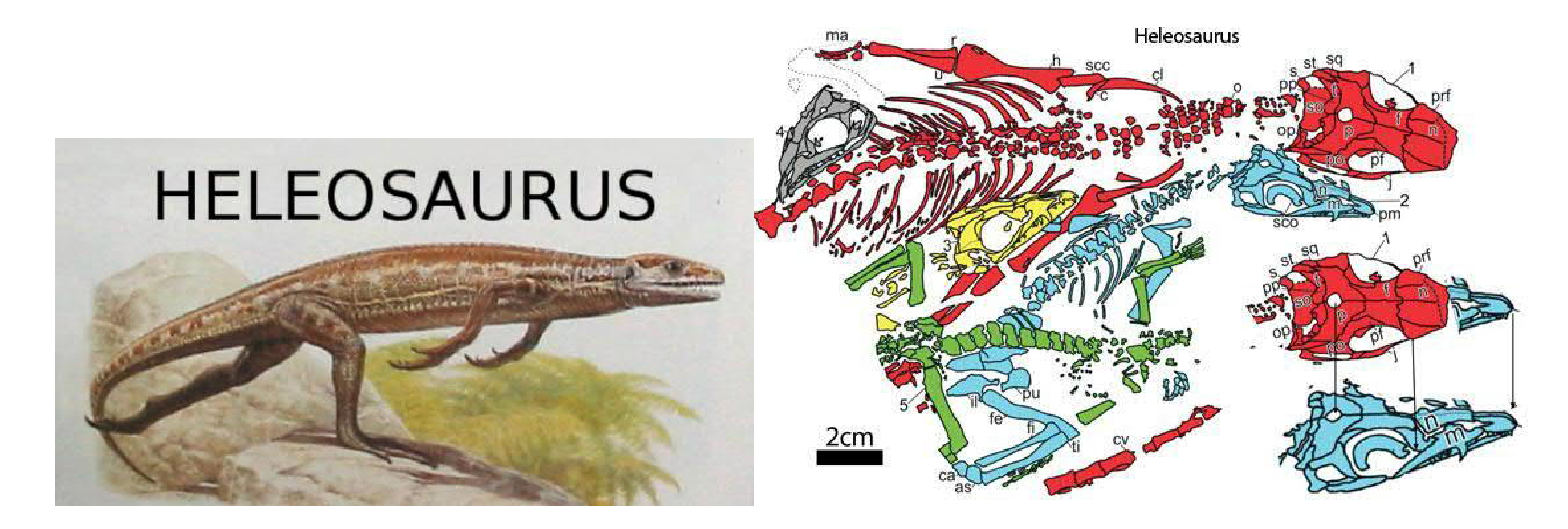
ربما أعطى الفصل العاشر انطباعًا بأن التطور الهام الوحيد ضمن سلويّات العصرين البرمي والترياسي حدث ضمن الزواحف وحيدة الفتحة الصدغية synapsids. هذا _بالتأكيد_ غير صحيح. هيمنت وحيدات الفتحة الصدغية إيكولُجيًا وعدديًا على مجتمعات الحياة الحيوانية الخاصة بسلويَّات العصر البرمي، أولًا من جانب البليكوسورات pelycosaurs ثم من جانب الثيرابسيديَّات therapsids. لكن قدرًا كبيرًا من التطور كان يحدث ضمن الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين، وفي العصر الترياسي حلَّوا محل وحيدات الفتحة الصدغية وصاروا الفقاريات البريَّة المهيمِنة. كان الإحلال دراميًّا للغاية [كبيرًا ومفاجئًا] بحيث أنه صار أساسًا للنقاش حول السؤال العام عن أي مجموعة فقارية حلت محل الأخرى. أدى تنوع الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين إلى كم ضخم من الأسماء الغير مألوفة، وقد حاولتُ إبقاء القائمة بأبسط قدر استطعتُه. تشكِّل الأسئلة وبعض الإجابات المحتملة ذات العلاقة بانتزاع ذوات الفتحتين الصدغيتين للهيمنة المواضيعَ الرئيسية لهذا الفصل.

الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين Diapsids

الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين البدائية Basal Diapsids

تحدرت الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين على الأرجح من النوع Petrolacosaurus، وكانت أكثر الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين بدائيةً مشابهةً للسحلية في الحجم والبنية والسلوك على نحو رئيسي. لكن الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين البدائية تطورت أيضًا إلى كائنات ذوات طرق اعتياش مثيرة للاهتمام منذ زمن مبكر منذ العصر البرمي المتأخر. فكان Heleosaurus [يعني اسمه زاحف السبخيات] من جمهورية جنوب أفريقيا الحاليّة لاحمًا بريًّا صغير الحجم والذي ربما كان قادرًا على الركض على قدمين اثنين. وفي مدغشقر، كان Coelurosauravus [الزاحف ذو العظم المجوف والامتدادين الجلديين المكسوين بعظم داخلي على جانبيه للطيران] متزلقًا هوائيًّا، وكان Hovasaurus [زاحف هوڤا أو الزاحف المدغشقري، وهوڤا كلمة تعني عامة شعب مدغشقر!] مائيًّا.



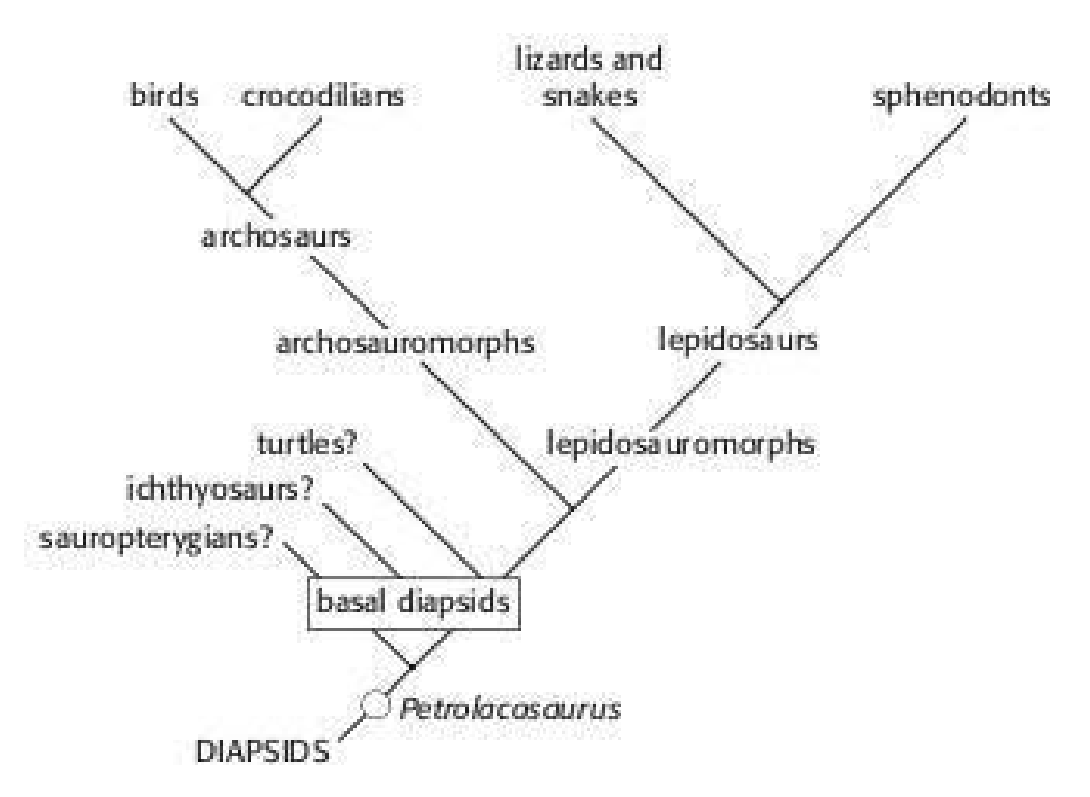


Heleosaurus زاحف السبخيات، زاحف ذو فتحتين صدغيتين بدائي، يعرف على أنه من البليكوسورات، من فصيلة Varanopidae or Varanops [ذوات الأشكال شبه الورلية] أثناء العصر البرمي الوسيط، ويعتقد بعض العلماء أنه من أسلاف الزواحف الحاكمة.



Coelurosauravus يعني اسمه الزاحف المجوف العظام، الزاحف المتزلق في الهواء ذو التركيب المشابه للأجنحة كامتداد جلدي على جانبيه وهو زاحف ذو عظام خفيفة مجوفة كان طوله حوالي ٤٠ سم.

ثلاثمئة عينة متحجرات من Hovasaurus [زاحف هوفًا] تجعل منه أكثر الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين من العصر البرمي معرفةً به. في المجمل، فقد كان شبيهًا بالسحلية، بطول حوالي ٣٠ سم فقط من الخطم حتى فتحة الشرج، لكن الذيل كان طويلًا على نحو استثنائي وقويًّا ومعقَّدا (الصورة ١١– ٢)، بالتالي كان طول كل الحيوان يقارب مترًا (٣ أقدام). كان للذيل ٧٠ فقرة على الأقل وبدا بالتأكيد مثل لاحقة للسباحة. وبداخل المتحجرات، احتوى التجويف البطني باستمرار على حصى مصغير من حجر المرو [الكوارتز]. كثيرًا ما يكون لذلك الحصى شكل مميز، مستدقًّا عند طرفيه. ويُفترَض أنها ابتلعها الحيوان أثناء حياته. إنها أصغر من أن تكون حصى لطحن الطعام وفي مؤخر البطن للغاية بحيث لا يمكن أن تكون قد شغلت حيزًا في المعدة أثناء حياته. يُحتمَل أنها كان يحتويها جيب بطني متكيف خصِّيصًا. لقد ابتلع Hovasaurus زاحف هوفًا المدغشقري الحجارة بالتأكيد كثقل توازن للغوص. تفعل التماسيح النيلية نفس الشيء، وربما تكون الـplesiosaurs المنقرضة [فصيلة زواحف مائية يعني اسمها أنها أقرب إلى شكل الزواحف البرية أكثر مما كانت الفصيلة المائية الأخرى ichthyosaurs ذات الأشكال المتحورة السمكية] فعلت ذلك أيضًا.



الشكل ١١– ١ مخطط تطوري للمجموعات الرئيسية للزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين. المكان التطوري لبعض أجناس الزواحف المائية غير واضح وغير مؤكد، رغم أنها يُحتمَل أن تكون نشأت مبكرًا في تطور ذوات الفتحتين الصدغيتين، وربما _كما يظهر في هذا الشكل هنا_ من ذوات فتحتين صدغيتين بدائية مصنفة هكذا باعتبار الفرع التطوري "ذوات فتحتين صدغيتين من حيث المنبت التطوري أو نقطة التفرع التطوري".

diapsids: الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين.

Petrolacosaurus: أبكر ذي ثقبين صدغيين معروف هو Petrolacosaurus (الصورة ١٠– ٢)، والذي بدا وعلى الأرجح عاش مثل السحالي (لكن أيضًا كذلك بدت أوائل السلويّات، انظر الصورة ٩– ١٠). ومقارنةً مع ذوات الفتحتين الصدغيتين اللاحقات، فإن Petrolacosaurus امتلك عظامًا رِكابية ثقيلة في أذنه، والتي لم تستطع نقل الأصوات التي يحملها الهواء. وكما في معظم رباعيات الأقدام المبكرة، فعلى الأرجح نقلت العظام الركابية الأذنية الذبذات الأرضية عن طريق عظام الأطراف إلى الجمجمة.

Sauropterygia فصيلة أخرى من الزواحف المائية يعني اسمها الزواحف ذوات الزعانف، تعتبره بعض الأشجار التطورية سلفًا للفصيلة Plesiosauria.

Ichthyosaurs: الزواحف المائية ذوات الأشكال السمكية.

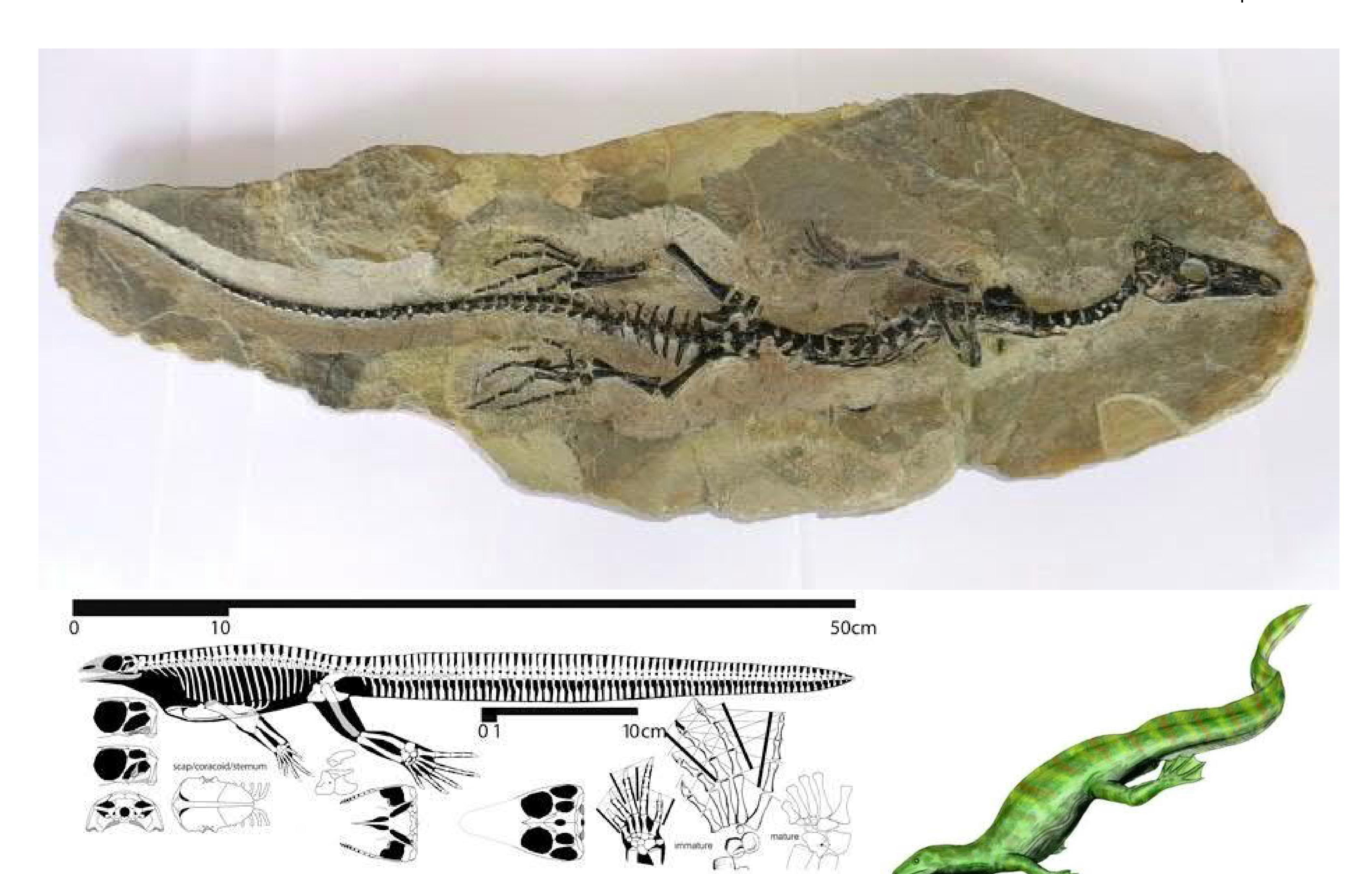
turtles: السلاحف والسلحفيات.

archosauromorphs: الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بصفات الزواحف الحاكمة، ومن أحد خطوط تحدرها نشأت الزواحف الحاكمة.

archosaurs: وتضمنت الديناصورات، ولم يعد باقيًا منها اليوم سوى التماسيح والطيور من أنسالها التطورية.

lepidosauromorphs: الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بصفات الزواحف المغطاة بالحراشف المتداخلة.

lepidosaurs: الزواحف المغطاة بالحراشف المتداخلة أو الزواحف الحرشفية أو المحرشَفة. وتتفرع إلى فرع السحالي والثعابين، وفرع التِوَتَارات أو الطِواطريَّات Tuatara or sphenodonts.



الصور ١١– ٢ [زاحف هوڤا أو المدغشقري] كان زاحفًا ذا فتحتين صدغيتين مائي من العصر البرمي المتأخر في مدغشقر، ينتمي إلى الفصيلة Eosuchia. كان ذيله طويلًا جدًا وتحجر تجويفه البطني وبداخله حصى، يمكن تعليلها بأنها كانت ثقلًا للتوازن تحت الماء، مانعة إياه من الطفو إلى السطح أثناء اصطياده الأسماك. كان طوله الكلي حوالي متر (٣ أقدام). ، وكان يشبه سحلية نحيلة وطوله حوالي ٥٠ سم، يمثل ذيله ثلثي هذا الطول، وكان ذيله مسطحاً من الخلف مثل ثعبان البحر.

تضمنت الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين البدائية على الأرجح أسلاف الزواحف المائية المهيمِنة في دهر الحياة الوسطى، الـichthyosaurs [الزواحف ذوات الأشكال السمكية] وplesiosaurs [الزواحف المائية ذوات الشكل الأقرب إلى الزواحف البرية مما كانت عليه ichthyosaurs] والتي سوف أناقشها في الفصل ١٤. ربما تنتمي السلاحف والسلحفيات أيضًا إلى الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين البدائية.

لقد بدأ التشعب إلى الفروع التطورية الرئيسية للزاحف ذوات الفتحتين الصدغيتين في أواخر العصر البرمي لكنه صار مثيرًا مبهر المنظر في العصر الترياسي. انتزاع الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين للهيمنة من الزواحف وحيدة الفتحة الصدغية أثناء ذلك الزمن كان سلسلة مدهشة من الأحداث.

يوجد في العصر الحالي فرعان تطوريان رئيسيان من الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين diapsids: الزواحف المغطاة بالحراشف lepidosaurs (السحالي والثعابين، والتِوَاتار الخاصة بنيوزيلاند) والزواحف الحاكمة [بقية ذريتها] (التمساحيات أو ساقيات الكاحل أو الرسغ أي: التماسيح والأليجاتورات وأقاربها وثيقة الصلة، والطيور) (المخطط التطوري في الشكل ١١– ١). إننا نستعمل تعريفًا لفرعي الزواحف المغطاة بالحراش والزواحف الحاكمة قائمًا على مفهوم المجموعات الإكليلية الناتجة ؛ وهو: كل الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين التي هي أوثق قرابةً تطوريةً إلى الباقية حية المعاصرة مما هي إلى أي شيء آخر. وكالمعتاد، هناك فروع تطورية منقرضة كانت قد ترفعت أسفل قاعدة هاتين المجموعتين الإكليليتين، وهذه تُصنَّف في فروع تطورية

أكبر تُعرَف بالزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالمغطاة بالحراشف Lepidosauromorpha والزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالزواحف الحاكمة Archosauromorpha. إن هذا المخطط التطوري منطقي ولو أن الأسماء اللاتينية فيه ثقيلة.

الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالمغطاة بالحراشف المتداخلة Lepidosauromorphs

على البرِّ، كانت المجموعة التصنيفية الإكليلية الزواحف المغطاة بالحراشف المتداخلة أو الزواحف الحرشفية هي المجموعة المهيمنة من الزواحف ذوات الأجساد صغيرة الأحجام منذ دهر الحياة الوسيطة. إنها تتألف من فرعين تطوريين رئيسيين (كما في المخطط التطوري ١١– ١). Squamata الحرشفيات أو السحلاويَّات هي أصغر الزواحف الحية الكثيرة والمتنوعة، وتتضمن السحالي والثعابين. وSphenodontia التِوَتاريَّات أو الطِواطاريَّات وتتضمن شكلًا حيًّا واحدًا فقط، هو التِوَتارا وتُعرَف في اللاتينية باسم Sphenodon، وهو حيوان شبيه بالسحلية ظاهريًّا بقي حيًّا في العصر الحالي على جزر قليلة فقط قرب ساحل نيوزيلاند (راجع الفصلين ١٧ و٢١). تُظْهِر سمات جمجمتها أنها ليست سحلية في الحقيقة. يعود جنس التِوَتاريَّات Sphenodonts بأصله إلى زمن العصر الترياسي في قِدَمه.

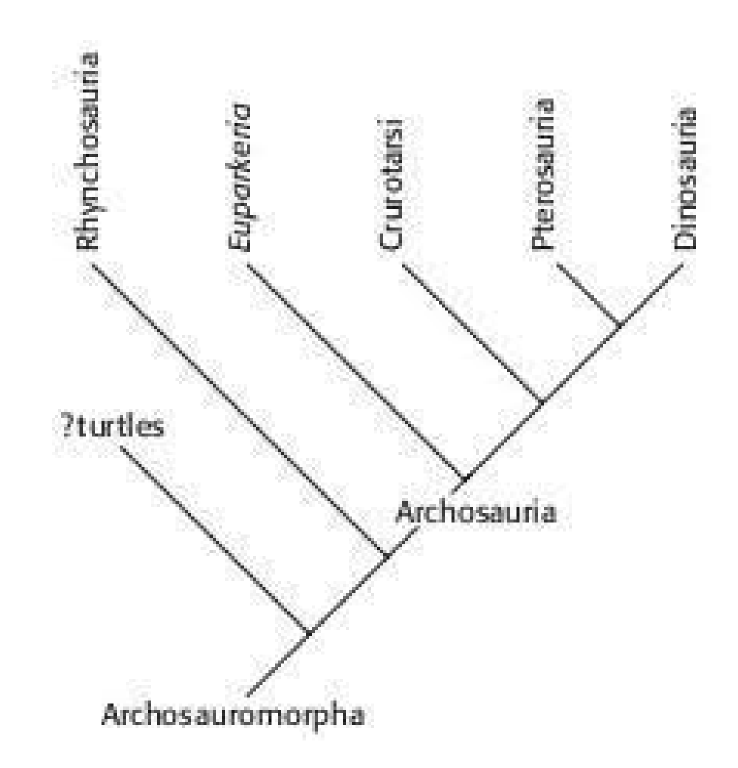


الصورة ١١– ٣ التِوَتارا أو الطِوَطارا (الطراطرة)، من نيوزيلاند.

الزواحف الحاكمة والزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالزواحف الحاكمة Archosauromorphs

تتضمن الزواحف ذوات صفات الزواحف الحاكمة Archosauromorphs أكبر حيوانات هوائية وبريَّة حجمًا عاشت على كوكب الأرض على الإطلاق، وقد نشأت وهيمنت على الأنظمة الإيكولُجيَّة البريَّة بحلول العصر الترياسي المتأخر (المخطط التطوري ١١–٤). السلاحف هي بالتأكيد من ذوات الفتحتين الصدغيتين وربما كانت السلحفيات من archosauromorphs الزواحف ذوات الصفات الخاصة بالزواحف الحاكمة البدائية. الزواحف ذوات الخطم Rhynchosauria كانت من الزواحف ذوات صفات الزواحف الحاكمة Archosauromorphs وكانت آكلات النباتات الكبيرة الأحجام المهيمِنة لفترة قصيرة خلال العصر الترياسي.

تطورت الزواحف الحاكمة Archosauria في الفترة من العصر الترياسي الوسيط إلى المتأخر وتتضمن الفروع التطورية: التمساحيَّات أو ساقيَّات الكاحل Crurotarsi أو Pseudosuchia (التماسيح والأليجاتورات وأشكال أقارب تطورية وثيقة لها)، والزواحف الطائرة مستطالة الإصبع الرابع Pterosauria، والديناصورات [أو الزواحف الضخمة الرهيبة] Dinosauria (سنتحدث عنها في الفصل ١٢) وتتألف من الزواحف (الديناصورات) شبيهات ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية البدائية prosauropods، والزواحف (الديناصورات) ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية sauropods، والزواحف (الديناصورات) ذوات الورك الشبيه بالخاص بالطيور، والزواحف السائرة على قدمين (والتي تتضمن الطيور). الطيور (وسنناقشها في الفصل ١٣) هي ذوات فتحتين صدغيتين مشتقة الصفات متطورة بالتأكيد، منتمية إلى الزواحف الحاكمة ومن فصيلة الديناصورات diapsid, archosauromorph, archosaurian, dinosaurs.



المخطط التطوري ١١- ٤ مخطط تطوري لذوات الصفات الخاصة بالزواحف الحاكمة. ربما كانت بحسبه السلاحف Turtles من ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالزواحف الحاكمة القاعدية بدلًا من أن تكون من ذوات الثقبين الصدغيين القاعدية أو البدائية. تتضمن Crurotarsi التمساحيات التمساحيات الحية والأشكال المنقرضة وثيقة القرابة التطورية بها.

Rhynchosauria: الزواحف ذوات الخطم

Euparkeria: زواحف باركر، نسبة إلى العالم William Kitchen Parker، وسميت كذلك تكريمًا له، جنس من الزواحف الصغيرة الحجم تطور فيه طرفان أماميان أقصر من الخلفيين، ويعتقد أنه كان يستطيع المشي على قدمين قليلًا اختياريًّا وأنه طور صفة المشي على قدمين على نحو مستقل عن الديناصورات.

Crurotarsi: التمساحيات أو ساقيّات الرسغ أو ساقيّات الكاحل.

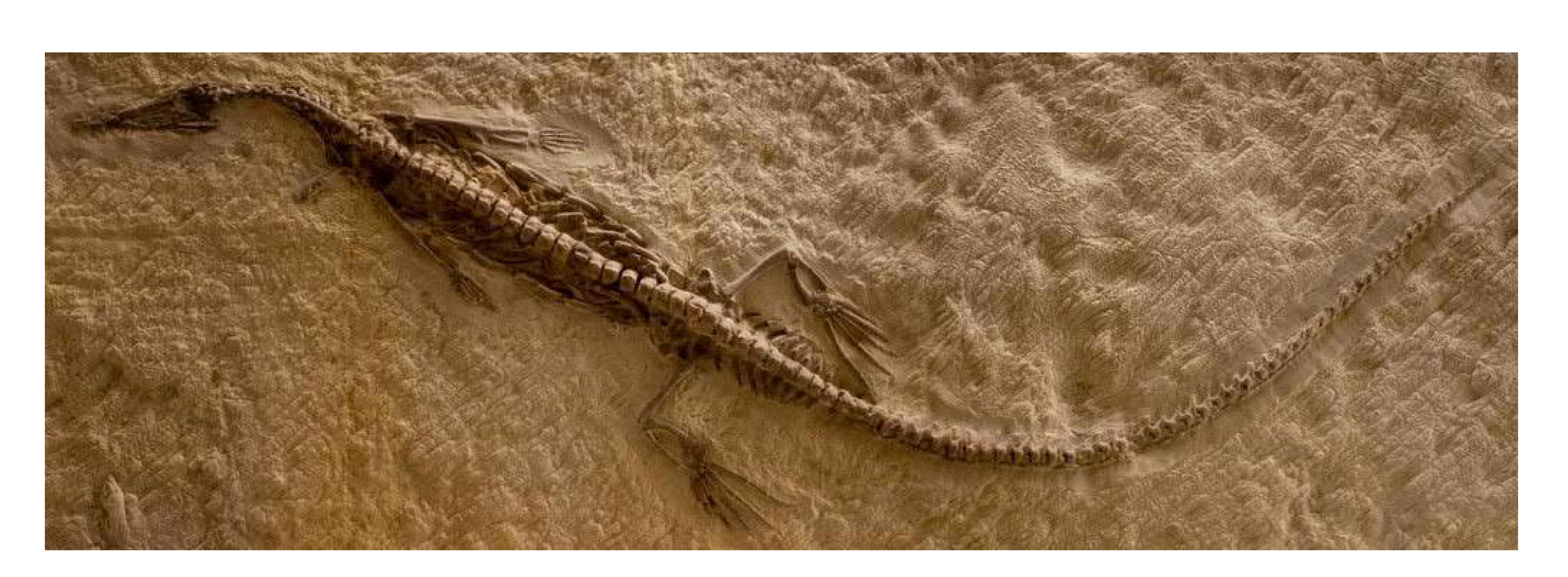
Pterosauria: الزواحف الطائرة مستطالة الإصبع الرابع، أول فقاريات طارت قبل نشوء الطيور التي لها فرع تطوري آخر مختلف.

Dinosauria: الديناصورات، الزواحف المرعبة الضخمة.

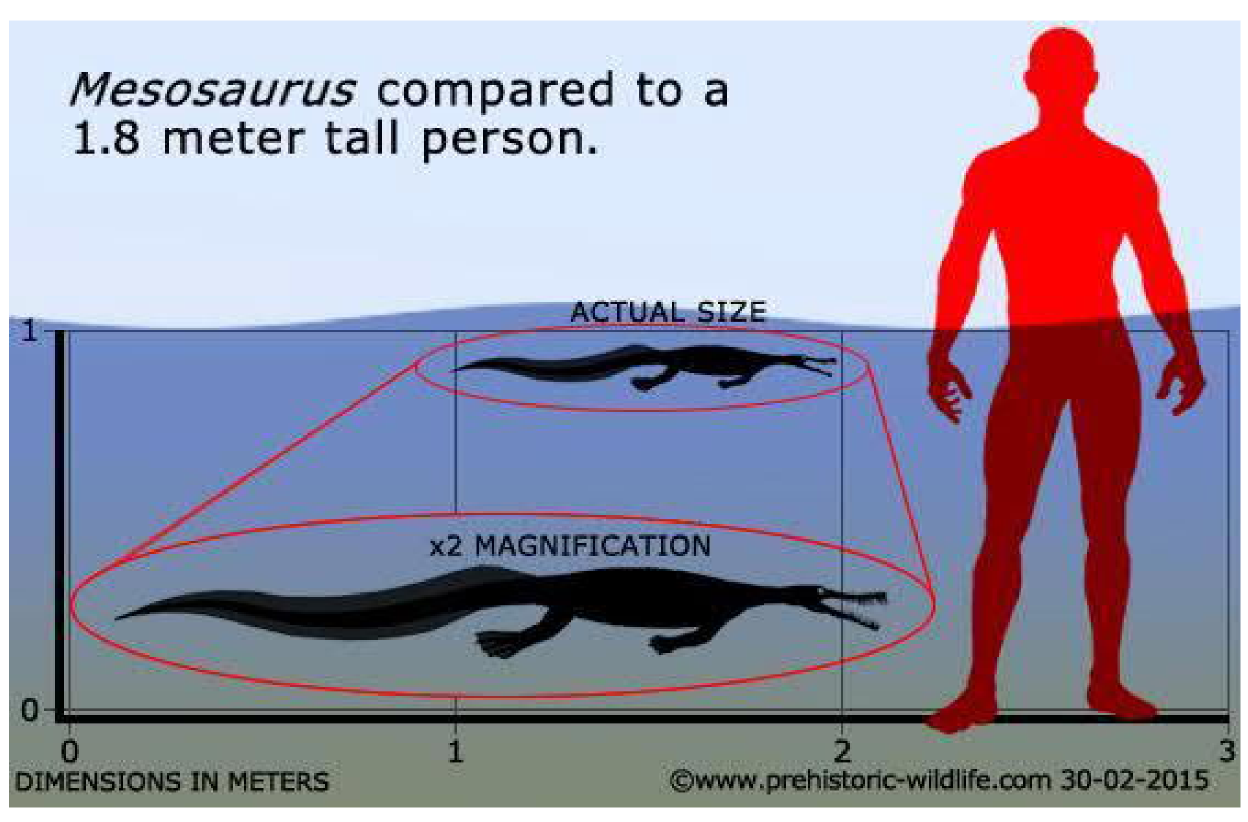
هيمنة ثنائية الحفر الصدغية الترياسية: النمط

لقد وُصِفَ أكثر من ٦٠٠ زاحف من العصر البرمي–الترياسي. إن تاريخ الأنواع التي عاشت في المجتمعات الحيوانية القاطنة للأراضي المنخفضة محفوظ على أفضل نحوٍ. أما المجتمعات الحيوانية التي قطنت الأراضي المرتفعة فليست محفوظة كثيرًا، وعينات الزواحف المائية ليست وفيرة متنوعة كالزواحف البريَّة.

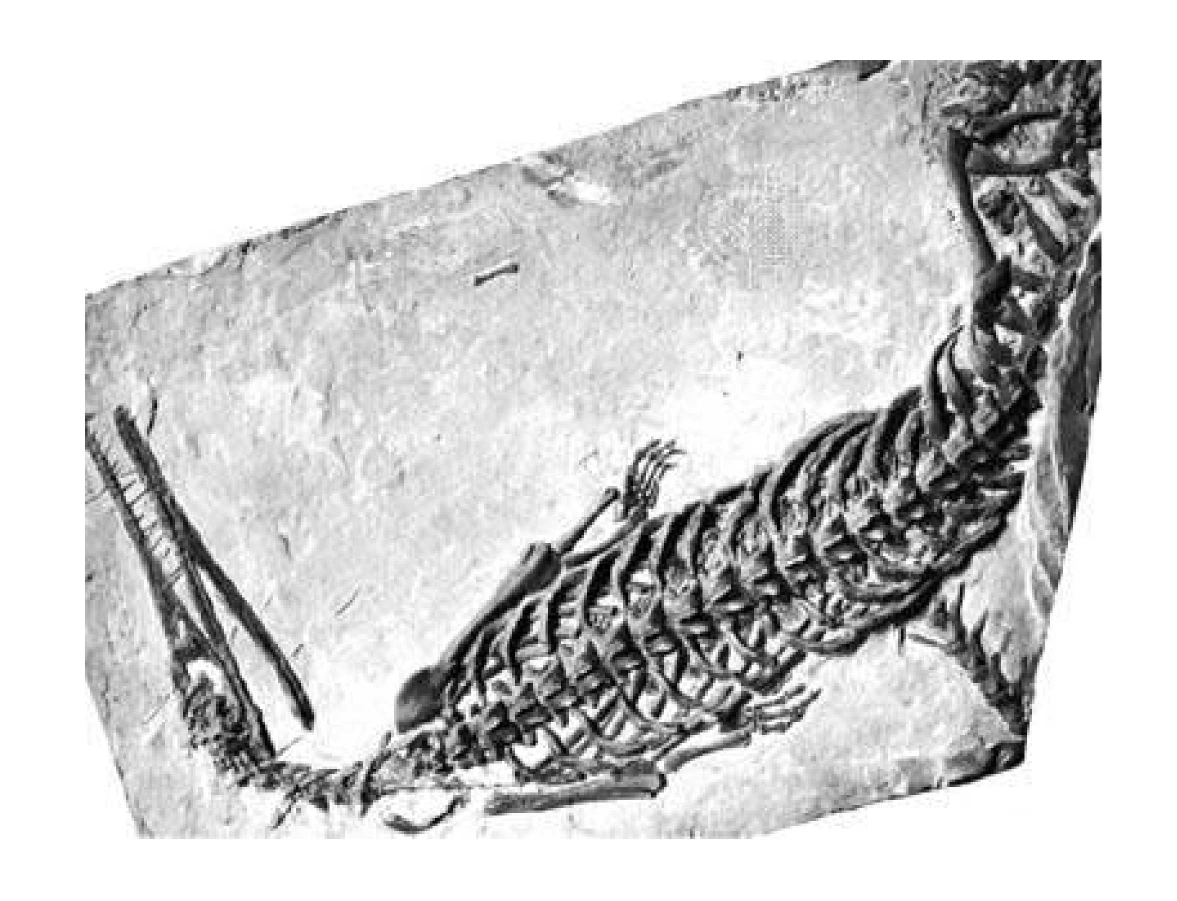
هيمنت البليكوسورات الكبيرة الأحجام على المناطق الاستوائية الخاصة بقارة أورامِركا القديمة في العصر البرمي المبكر. كان الحيوان السلوي الوحيد خارج هذه المنطقة مائيًّا، وهو صائد الأسماك الصغير الحجم Mesosaurus [يعني اسمه الزاحف المتوسط الحجم] (الصور ١١- ٥)، والذي عاش في وَ حَوْلَ الأجزاء الأفريقية والبرازيلية الحالية من قارة جندوانا القديمة.





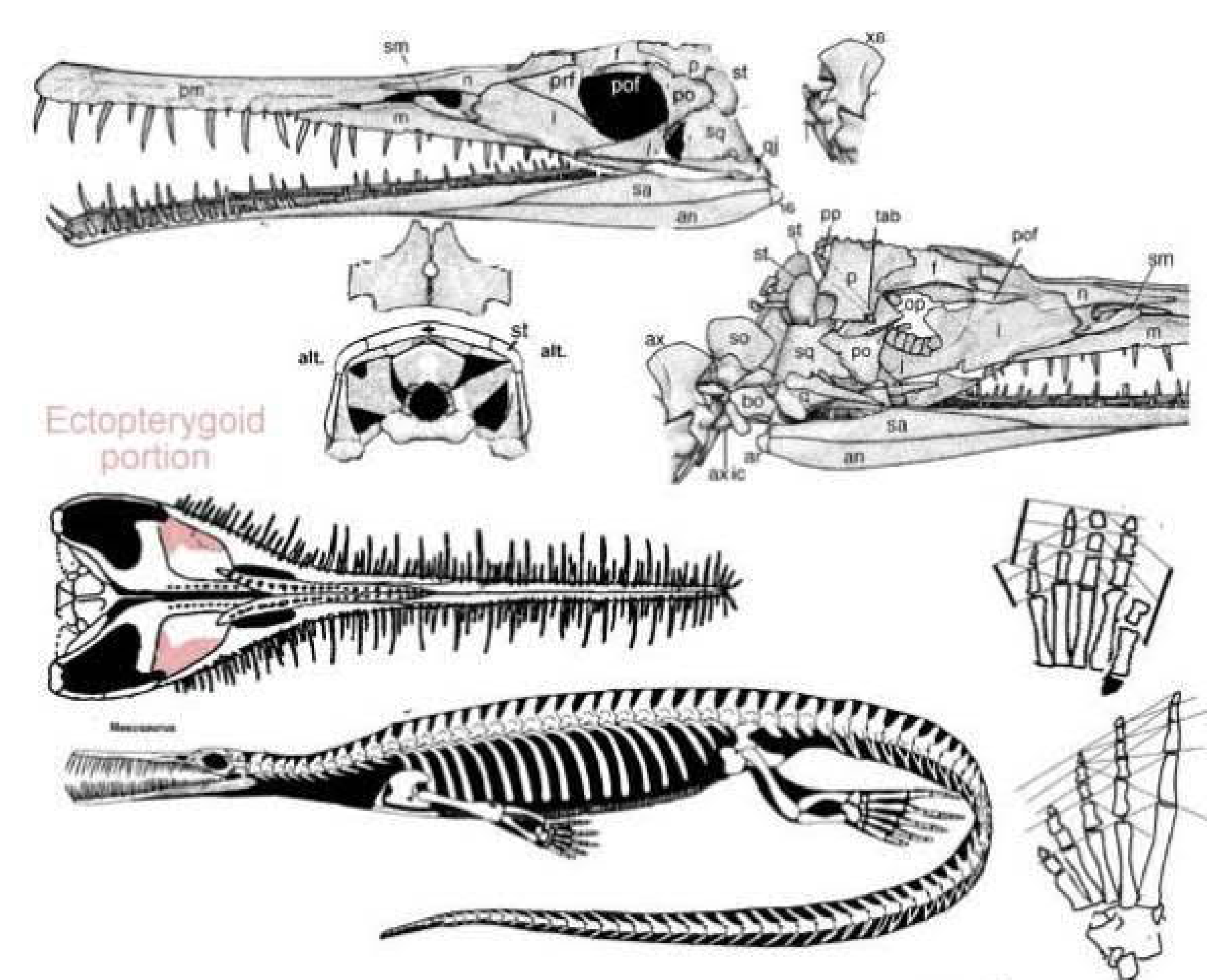


Mesosaurus compared to a
1.8 meter tall person.
ACTUAL SIZE
x2 MAGNIFICATION
1
0
0
1
2
3
DIMENSIONS IN METERS
©www.prehistoric-wildlife.com 30-02-2015




STANLEY
LifeGuard
MADE IN U.S.A.





sm
pm
n
prf
pof
p
st
po
l
sq
qj
m
sa
an
xs
pp
tab
f
op
so
bo
ax
ar
alt.
Ectopterygoid
portion
Mesosaurus









الصور ١١– ٥ كان Mesosaurus [الزاحف المتوسط الحجم] أول حيوان سلوي يصل إلى قارة جندوانا. لقد ساعد اكتشافه في رواسب المياه العذبة الخاصة بالعصر البرمي في جمهورية جنوب أفريقيا والبرازيل على تأكيد أن أفريقيا وأمركا الجنوبية كانتا متصلتين في قارة جندوانا القديمة. يبدو الكائن كآكل أسماك. وكان طوله حوالي متر (٣ أقدام).

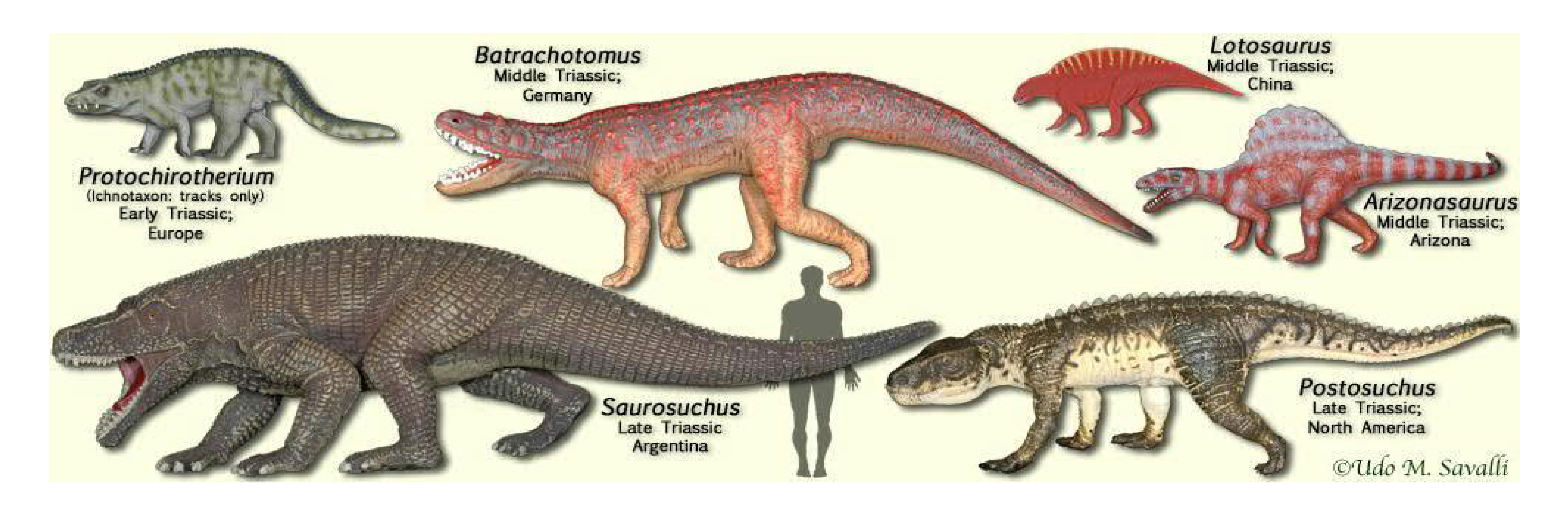
بحلول العصر البرمي المتأخر، استطاعت الحيوانات البرية الدخولَ إلى قارة جندوانا. حلت الثيرابسيديَّات [الزواحف الشبيهة بالثدييات] محل البليكوسورات وصارت الزواحف البرية السائدة. وسادت ثيرابسيديات متطورة جديدة في العصر البرمي، وخاصةً dicynodonts الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب. لكن في بعض المناطق كانت diapsids الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين تتشعب أيضًا إلى معتاشات بطرق اعتياش جديد. فكما قد رأينا، كانت هناك زواحف ذوات فتحتين صدغيتين منها البري والمائي والمتزلق في الهواء في مدغشقر، والأكثر أهمية أن نجاح Heleosaurus في جمهورية جنوب أفريقيا يقترح أن ذوات الفتحتين الصدغيتين كانت قد شرعت في اجتياح مناطق أبرد في ذلك الزمن.

كان لقارة جندوانا مستعمَرات حياة حيوانية ثريّة في العصر الترياسي، وكانت الحيوانات البرية يمكن لها الانتشار عبر قارة بانجيا القديمة. انخفض تنوع الثيرابسيديَّات على نحو حادٍ في حدث الانقراض البرمي –الترياسي، ولو أن الأنواع التي نجت كانت منتشرة على نحو واسع ومتنوعة وفيرة. كانت الزواحف الثيرابسيدية ذوات السنين الشبيهين بأسنان الكلب Dicynodonts وفيرة على نحو استثنائي بأحجام كبيرة، وكانت ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب cynodonts آكلات نباتات متوسطة الأحجام. كان هناك القليل من المفترِسات الثيرابسيديَّة، معظمها كانت من ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب cynodonts مثل Cynognathus [ذي الفك الشبيه بفك الكلب] (انظر الفصل ١٥). كانت بعض الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالزواحف الحاكمة archosauromorphs المبكرة صغيرة الأحجار ولاحمة مفترِسة، ولو أن الثيرابسيديَّات فاقتها عددًا بمعدل حوالي ٦٥ إلى ١. لكن بنهاية العصر الترياسي المبكر، كانت بعض ذوات الصفات الشبيهة بصفات الزواحف الحاكمة بطول ٥ أمتار (١٦ قدمًا)، ذوات جماجم ضخمة طوله متر. وفي جمهورية أفريقيا، كان جنس Euparkeria زواحف باركَر لاحمًا مفترِسًا سريع الحركة خفيف البنية والذي باسترجاع الأحداث التطورية كان وثيق القرابة بأسلاف الزواحف الحاكمة Archosauria.



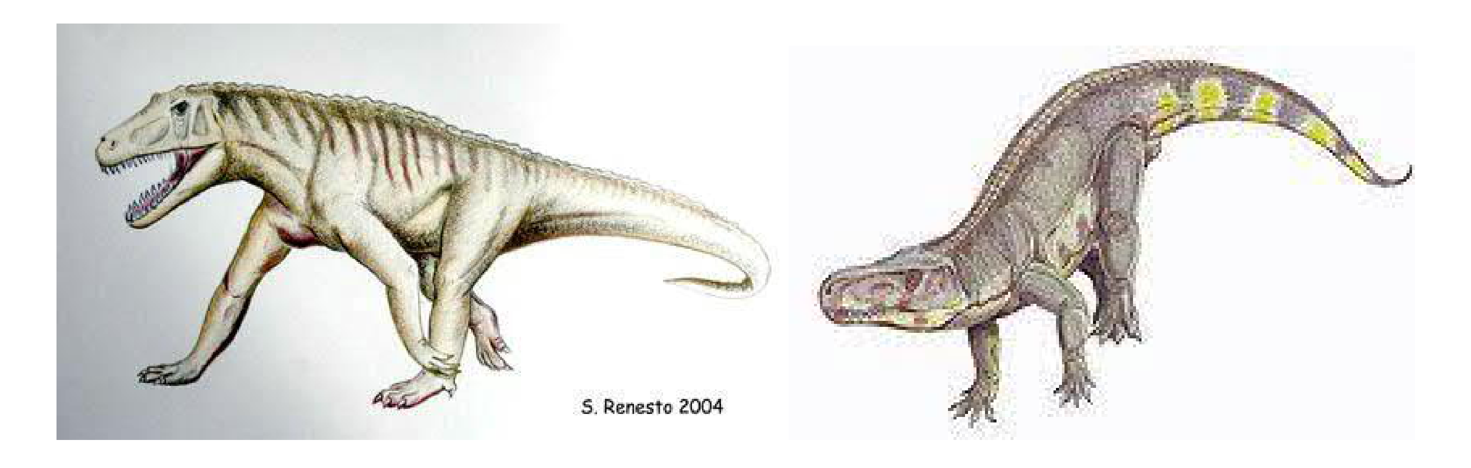
Euparkeria

كانت الثيرابسيديّات هي آكلات النباتات السائدة تمامًا حتى العصر الترياسي. لكن ذوات الفتحتين الصدغيتين diapsids في العصر الترياسي أظهرَتْ تحسناتٍ ملحوظة في القدرة على الركض أكثر من الأشكال المبكرة لها، وبحلول نهاية العصر الترياسي الوسيط، صارت rhynchosaurs الزواحف ذوات الخطم آكلات نباتات وفيرة الأعداد بجوار dicynodonts الزواحف شبيهة الثدييات ذوات السنين الشبيهين بأسنان الكلب. وكانت هناك تغيرات أكبر بكثير ضمن اللواحِم [المفترِسات]. صارت Archosauromorphs الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بصفات الزواحف الحاكمة من أحجام متعددة وفيرة الأعداد في العصر الترياسي الوسيط، متراوحة من الزواحف rauisuchians شبيهات التماسيح المسماة بتماسيح راو السائرة على أربع إلى الزواحف ornithosuchids or Ornithosuchidae شبيهات التماسيح منتصبة القامة السائرة أحيانًا على قدمين كمشية ووقفة الطيور أو "التماسيح الطيرية الوقفة والمشية" السائرة على قدمين، مع وجود أشكال شبيهة بالتماسيح أيضًا. أما ضمن الثيرابسيديَّات، فكانت cynodont ذوات الأسنان الشبيهة بالكلاب المفترسة متوسطات الأحجام على أقصى تقدير لكنها كانت لا تزال وفيرة ومتنوعة.



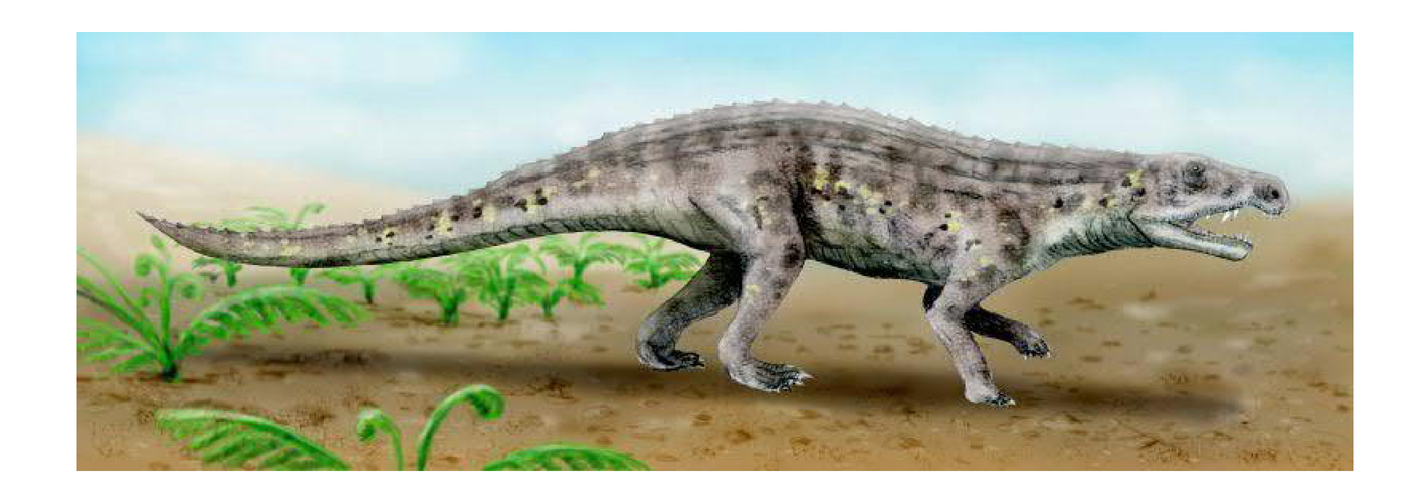


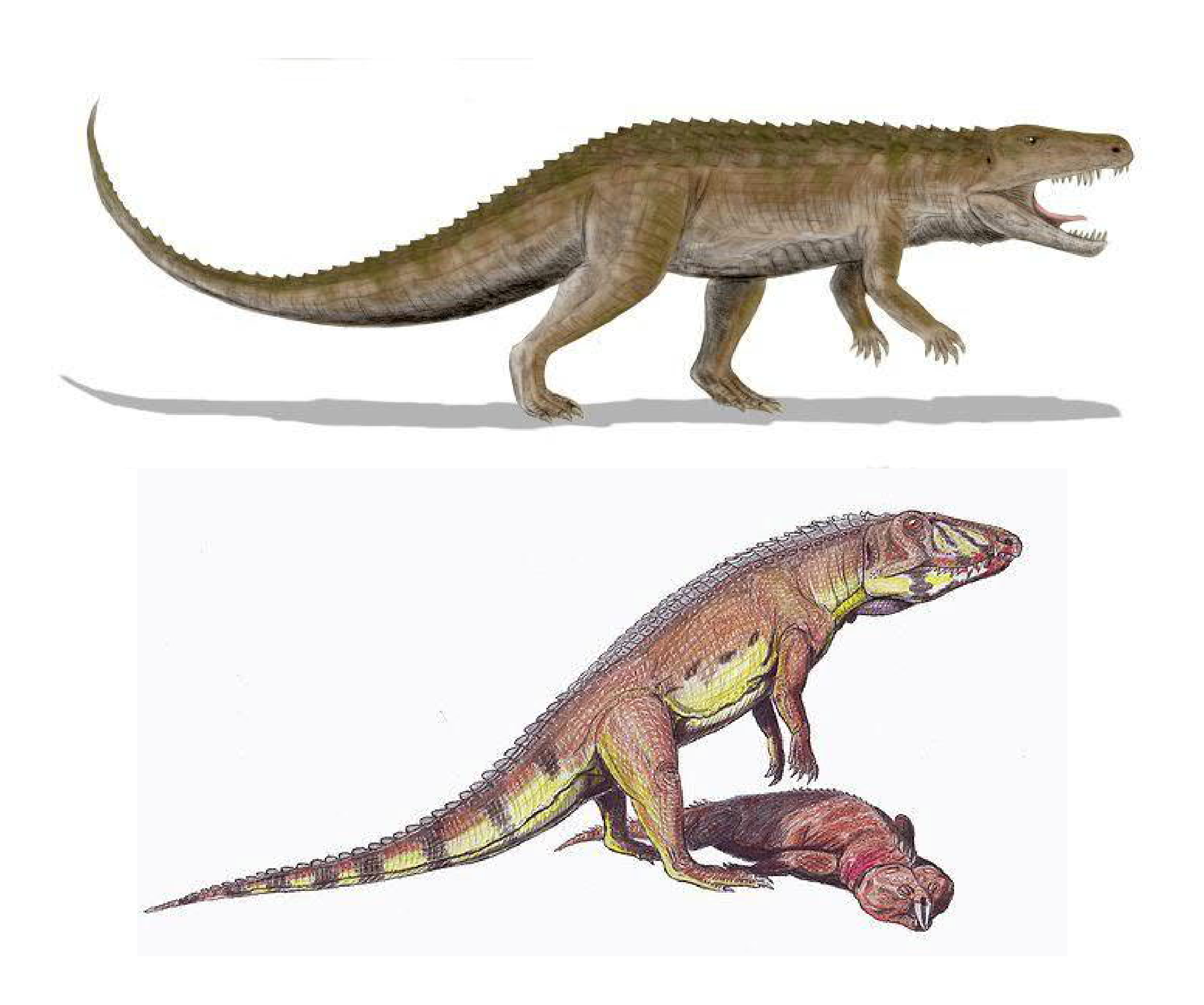
Postosuchus kirkpatricki, a rauisuchian



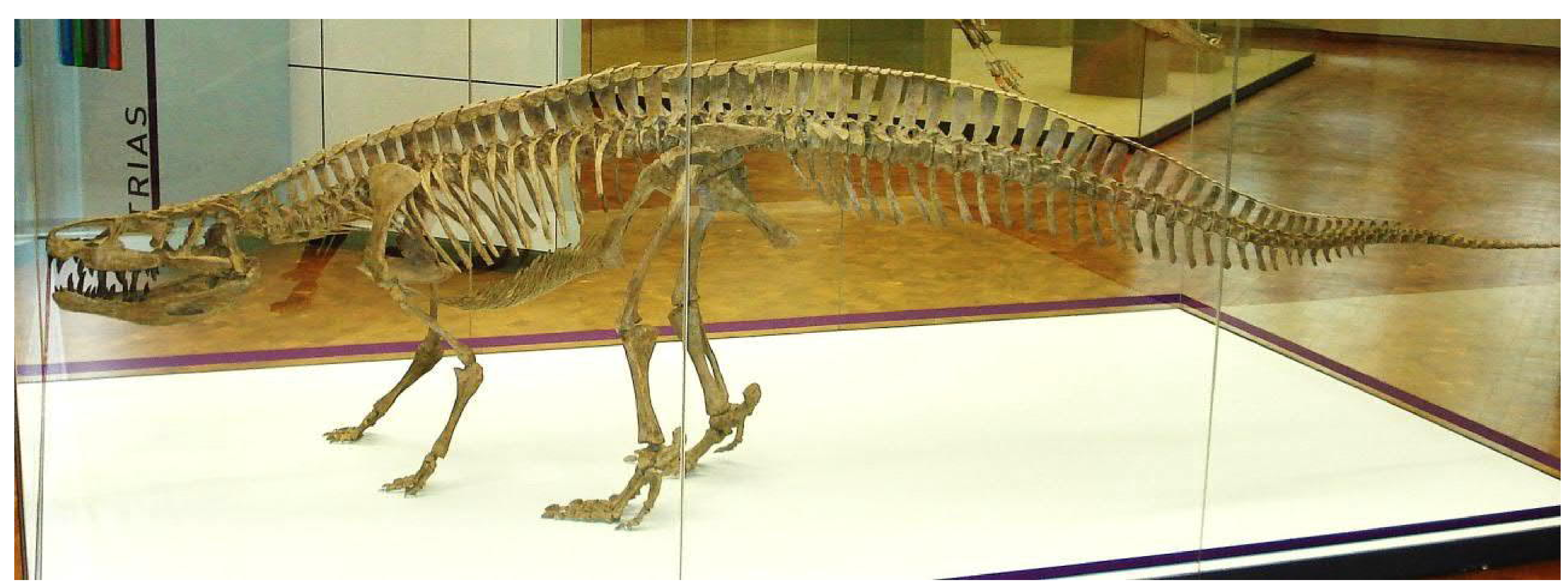
Alchetron Batrachotomus

بعض أنواع شبيهات التماسيح المعروفة بتماسيح راو rauisuchians





التماسيح الطيرية الوقفة والمشية، الاسم العلمي لها Ornithosuchidae†: هي فصيلة منقرضة من الزواحف من العصر الثلاثي والتي كانت متصلة بشكل بعيد بالتماسيح. وتصنف على أنها من الأركوسورات ساقية الرسغ .كانت التماسيح الطيرية رباعية المشية وثنائية المشية بشكل اختياري، مما يعني أنها كانت قادرة على المشي على قدمين لفترات قصيرة من الزمن. ولها خطوم منحنية مميزة وعظام الكاحل ذات شكل فريد تميزها عن الأركوسورات أخرى. كانت التماسيح الطيرية منتشرة جغرافياً خلال مراحل الكارني والنوري من فترة الثلاثي (الترياسي) المتأخر.



Pseudosuchia من أقارب التماسيح البعيدة، من فصيلة ساقيات الرسغ أو التمساحيّات

اضمحلت الثيرابسيديَّات Therapsids والزواحف ذوات الخطم rhynchosaurs بوضوح في العصر الترياسي المتأخر، رغم أنها كانت لا تزال مهمة إيكولُجيًّا. وبحلول أواخر العصر الترياسي كانت معظم الثيرابسيديَّات قد اندثرت، ومعها الزواحف ذوات الخطم والكثير من archosauromorphs الزواحف الأخرى ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالزواحف الحاكمة. كانت آكلات النباتات في أواخر العصر الترياسي كلها تقريبًا ديناصورات prosauropod ذوات ورك شبيه بالخاص بالسحلية بدائية [أوليّة]، وكانت الزواحف اللاحِمة ذوات الفتحتين الصدغيتين diapsid أكبر حجمًا وأكثر تنوعًا وقدرةً على الحركة من ذي قبل، ووُجِدَت بجوارها أوائل الديناصورات السائرة على قدمين theropod والديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischian. كانت أوائل الثدييات قليلة وصغيرة الأحجام.

آخر الأمر، عند نهاية العصر الترياسي، اكتسحت الديناصورات سريعًا الأنظمة البيئية الإيكولُجيّة البريَّة عبر أنحاء العالَم، حالَّةً محلَّ الـ thecodonts [الزواحف ذوات الأسنان الموضوعة في تجاويف في عظام الفك] والثيرابسيديَّات على السواء في كل طريقة اعتياش خاصة بأحجام الأجساد المتوسطة والكبيرة، لتكوّنَ حياةً حيوانية برية تسودها الديناصورات استمرت طوال العصرين الجوارسي والطباشيري.

حلول الزواحف الحاكمة محل الثيرابسيديَّات كان على مستوى العالم. لقد اسْتُبْدِلَت الثيرابسيديَّات اللاحمة أولًا، تدريجيًّا خلال العصر الترياسي الوسيط. صارت الزواحف الحاكمة اللاحمة تدريجيًّا أكبر حجمًا وأكثر تنوعًا وأكثر وفرةً عدديةً مع مرور الوقت. وصارت لهم بنية أطراف أكثر انتصابًا، مما يدل على قدرة أفضل على الحركة، بما في ذلك الركض على قدمين اثنين في كثير من الحالات. كان إحلال آكلات النباتات أسرع بكثير، حيث حدث في الجزء المبكر من العصر الترياسي المتأخر.

هناك جدالات حول الفجائية النسبية لبعض الإحلالات. أظهَرَتْ دراساتٌ على صخور العصر الترياسي والتي تمتد من كارولينا الشمالية حتى نوفا سكوتيا أنه قد كان هناك على الأقل انقراض كبير مفاجئ للفقاريات البرية الخاصة بالعصر الترياسي المتأخر. يتساءل بعض العلماء ما إذا كان اصطدام بنيزك كان متضمَّنًا، مشيرين إلى حفرة Manicouagan العميقة الضخمة في Québec في كندا (قطرها ٧٠ كم أي: ٤٠ ميلًا)، والتي تؤرَّخ ببعض عدم التأكد على أنها حدثت في العصر الترياسي المتأخر. فيما ينفي آخرون أن الإحلالات كانت فجائية على الإطلاق، أو _لو أنها كانت كذلك_ أنه كان هناك على لأقل واقعتين منفصلتين للانقراض والإحلال. تعكس هذه الجدالات صعوبةَ تحديد الزمن النسبي في الرواسب البريَّة، وسوف تُحَلُّ آخر الأمر بالأبحاث الميدانية الدقيقة المتأنية.

هناك جدالات أكثر جذرية حول العلاقة بين الزواحف الحاكمة والثيرابسيديات. يجادل بعض العلماء بأن الثيرابسيديات انقرضت لأسباب بيئية إلى حد كبير (كمثال، تغير المناخ أو الاصطدام بكويكب) وحلت محلها الزواحف الحاكمة التي تشعبت بعدما كانت الثيرابسيديات قد انقرضت. يقترح آخرون تنافسًا أكثر مباشرةً، تغلبت فيه أولًا الزواحف الحاكمة اللاحمة على الثيرابسيديَّات اللاحمة ثم اصطادت الثيرابسيديات النباتية المتبقية. بعد ذلك تطورت الزواحف الحاكمة النباتية لتستفيد من الحياة النباتية الوفيرة. في هذا النموذج، نتج نجاح الزواحف الحاكمة عن التفوق التنافسي الكفؤ.



تماثيل طريفة شبيهة بألعاب الأطفال إلى حد ما من المتحف الطبيعي القومي الصيني تصور أحد السيناريوهات المحتملة لانقراض الزاوحف ذوات الخطم [يظهر هنا النوع Scaphonyx ومعنى اسمه ذو المخالب الكبيرة] بسبب افتراس الزاوحف الحاكمة لها [يمثلها النوع Herrerasaurus ومعنى اسمه زاحف هيرًا نسبة إلى راعي ماشية أنديزي يُدعى "فيكتورينو هيرًا" اكتشف أول عينة منه، وهو من أقدم الديناصورات المعروفة ذو جمجمة أقرب إلى التشريخ الخاص بالأركوسورات ومفصل عظم الحوض كذلك لم يكن مفتوحًا إلا على نحو جزئي كالأركوسورات، هو ديناصور من رتبة ذوات الورك الشبيه بالسحلية من رتيبة السائرة على قدمين].

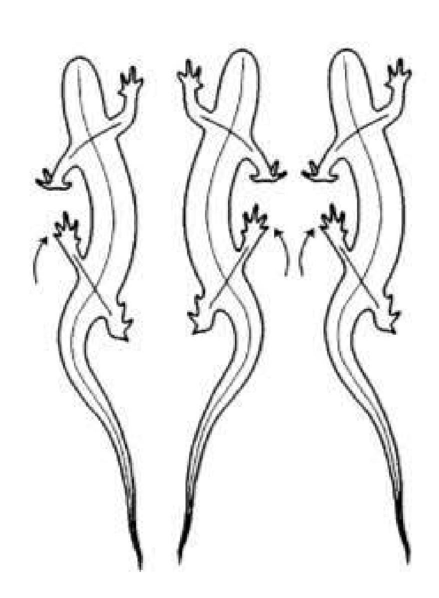
عندما يتعلق الأمر بالأدلة الحقيقية، فإننا نستطيع أن نرى بوضوح أن الزواحف الحاكمة كانت أكثر تفوقًا من الفقاريات البرية المعاصرة الأخرى في التنفس والحركة. إن الاختلاف بين الزواحف الحاكمة archosaurs الخاصة بالعصر الترياسي وذوات الفتحة الصدغية الواحدة synapsids الخاصة بالعصر الترياسي واضح وعميق للغاية بحيث أنه يقدم كل كافة الأسباب الكافية التي نحتاجها لتعليل اضمحلال ذوات الفتحة الصدغية الواحدة، ما عدا الناجيات منها المخادعات الداهيات الماكرات الناشطات ليلًا: الثدييات.

التنفس والأيض (التمثيل الغذائي) والتحرك

في عام ١٩٨٧م، صاغ David Carrier بعض الأفكار البسيطة لكن القوية عن العلاقات بين التنفس والحركة والفِسْيُلُجِي [وظائف الأعضاء].

لا توجد مشكلة لدى الأسماك في الحفاظ على مستويات عالية من الجهد. كمثال؛ تسبح الكثير من أنواع أسماك القرش طوال حيواتها بلا راحة. يعطي التنفس بالخياشيم كل تغيير الأُكْسُجِن اللازم لتلك المستويات العالية من الجهد، ومع مهاراتِ صيدٍ جيدة يكون إمداد الطعام الضروري متاحًا بسهولة. لم يغيِّر تطور الرئات العلاقة بين التركيب التشريحي والفسيولُجيَّة. فمع ذلك، يجب أن يُضَخَّ الهواء إلى وخارج تجويفٍ جسدي داخلي، وللأسماك الرئوية الحية المعاصرة معدلات نشاط منخفضة جدًّا لأن تبادل الأكسجن الخاص بها ليس متكيفًا للجهد العالي.

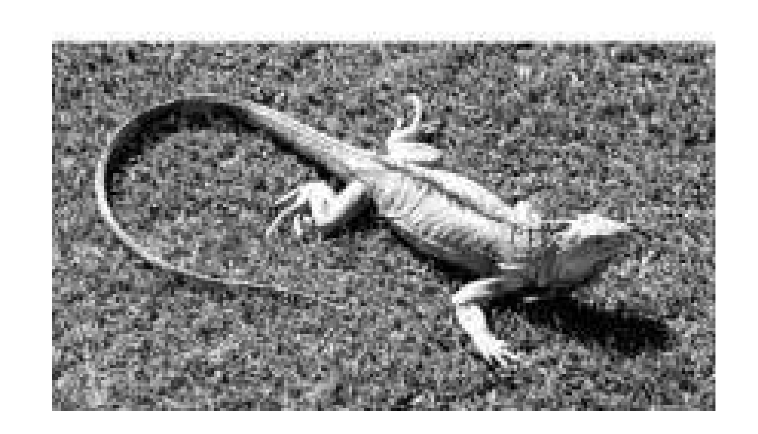
تَنَقُّل رباعيات الأقدام على اليابسة يواجه مشكلة أكثر خطورة بكثير. فالحزام الكتفي والأطراف الأمامية _التي تزودها جزئيًّا بالقوة عضلاتُ الجِذْعِ_ متكرسان إلى حد كبير لدعم الجسد ولحركة الجسد على الأرض. في المشية المتفرشحة الأرجل الخاصة بالبرمائيات والزواحف الحية المعاصرة، ينثني الجِذعُ أولًا إلى أحد الجانبين ثم إلى الجانب الآخر في المشي والركض. عندما يخطو الحيوان إلى الأمام بقدمه اليسرى الأمامية، ينضغط الجانب الأيمن من الصدر والرئة التي بداخله بينما يتمدد الجانب الأيسر (الصورة ١١– ٦). ثم تنعكس الدورة مع الخطوة التالية. هذا الثني للصدر يتداخل مع التنفس الطبيعي ويعيقه على نحو أساسي، حيث يتمدد ثم ينقبض بانتظام الصدرُ وكلٌّ من الرئتين. إن مشى الحيوان، فربما يقدر على التنفس فيما بين الخطوات، لكنْ لا تستطيع الفقاريات المفرشحة الأرجل أن تركض وتتنفس في نفس الوقت. سوف أدعو هذه المشكلة بقيد Carrier.



الشكل ١١– ٦ اشار David Carrier إلى أن الحركة المتفرشحة الخاصة بسحلية أو سمندل تجبره على ضغط كل رئة بالتعاقب بينما هو يمشي.

تستطيع الحيوانات الركض لفترة بدون تنفس؛ كمثالٍ، عادةً ما لا يتنفس العدَّاؤون الأولِمبيُّون أثناء سباق المئة متر. تستطيع الحيوانات توليد طاقة مؤقتة عن طريق عملية حل السكر لا هوائيًا، مفكِّكةً جزيئاتِ الغذاء في إمداد الدم بدون استعمال الأكسجن. لكن هذه العملية سرعان ما تراكِم دَيْنَ أكسجن ومستوى عالٍ على نحو خطر من حمض اللاكتيك [الحمض اللبني] في الدم. كثيرًا ما تستعمل الثدييات العدَّاءة الراكضة (كفهود الشيتا والبشر كمثال) حل السكر [الجلوكوز] اللاهوائي رغم أنها تستطيع التنفس أثناء ركضها، فهو تعزيز مفيد لكنه على نحو جوهري طارئ قصير المدى، مثل غرفة احتراق مساعدة [حارق خلفي أو لاحق] في طائرة نفاثة مقاتلة.

إذن، تستطيع البرمائيات والزواحف الحية المعاصرة القفز أو الركض سريعًا لوقت قصير، أولًا باستنفاد الأكسجن المخزَّن في رئاتها ودمها، ثم بالتحول إلى تفكيك الجلوكوز لا هوائيًّا. رغم ذلك، فهي لا تستطيع العَدْوَ لوقتٍ طويلٍ. إن أرادت السحالي التنفس، فإنها تحتاج إلى الوقوف ثابتةً بأرجل متناظرة الوضعية (الصورة ١١– ٧). تجري السحالي باندفاعات قصيرة، مع توقفات متكررة. بتعليق مسجِّلات بأجسادها، برهن Carrier أن التوقفات هي لأجل التنفس، وأن السحالي لا تتنفس أثناء جريها. لذلك، تستعمل كل المفترِسات البرمائية والزاحفية الحية تكتيكات الكمون للإمساك بالفريسة السريعة الرشيقة. كمثال، تدفع الحرباواتُ والعلاجيم [ضفادع الطين] ألسنتَها على الحشرات المارَّة.



الصورة ١١– ٧ هذه السحلية قد توقفت لأخذ نفسها.

سحالي تنين كومودو أو الأورا الضخمة من فصيلة Varanidae or varans [الورليَّات الضخمة] _والتي تأكل الظباء والخنازير وبعض السياح (أجدرهم بالذكر البارون Rudolf von Reding في ١٨ يوليو ١٩٧٤م)، اقتربت قليلًا من حل مشكلة قيد Carrier بضخ الهواء إلى رئتيها من كيس حنجري؛ لكن هذا يمنحها تحسنًا قليلًا فقط في الأدء. لتنين كومود مدة قصير من الجري، لكنه يفضِّل الكمونَ للفريسة من على مسافة متر واحد.
تمتلك البرمائيات ومعظم الزواحف الحية قلبًا ذا ثلاث حجرات، والذي يُعتبَر في العادة أدنى من القلب ذي الأربع حجرات الخاص بالثدييات والطيور الحية المعاصرة. لكن القلب ذا الثلاث حجرات مفيد للسحلية. إذْ تجري السحالي لصيد الطعام أو للهرب من خطر، لذلك يجب أن تستعمل مواردها بأكبر كفاءة في تلك الأوقات. ففي ركضها، يكون عديم الفائدة وربما خطرًا بالنسبة للسحلية أن تهدر طاقتها في ضخ الدم إلى رئتين لا تستطيعان العمل أثناء الركض. بالتالي تستعمل السحالي كل قدرة قلبها وكل سعة الدم الذي لديها لتدوير مخزونها من الأكسجين عبر كل جسدها. الثمن الذي ستدفعه السحلية سيكون زمنًا أطول للتنشيط من جديد عندما ستحتاج إلى مد الدم بالأكسجن، لكنها في العادة تقدر على فعل ذلك في لحظات أقل خطورة وأهمية.

امتلكت كل رباعيات الأقدام المبكرة مشية مفرشَحة وواجهت مشكلة كبيرة. فقد استعمل تنفسها وتحركها نفس مجموعات العضلات تقريبًا، ولم يمكن أن يعمل كلا النظامين في نفس الوقت. تصور الرحلة المرهقة لـIchthyostega [رباعي الأقدام ذي الأشواك السمكية الأولي] من الماء إلى بِرك تكاثرِه، بخطوات قليلة ولهثات قليلة متكررة طوال الرحلة. يستطيع المرءُ أن يفهمَ لماذا ظلت كثير من السلويّات المبكرة متكيفة للعيش بدرجة كبيرةٍ في الماء، ولماذا كثيرًا ما بدت الكثير من السلويّات المبكرة برمائية. سبح الـEryops [ممدود الوجه] _كمثال_ باستعمال ذيله (انظر الصورة ٩– ٣)، ولم يكن لديه صعوبة كبيرة في تخصيص عضلات قفصه الصدري لأخذ أنفاس عميقة عند سطح الماء.

عندما نرى [متحجرات] حيوانات برية مثل البليكوسورات، ذوات أعمدة فقرية مصلَّبة مقوَّاة أسنان مطوَّرة لأنظمة الغذاء القائمة على الافتراس أو أكل النباتات بدلًا من أكل السمك، يكون علينا أن نستنتج أن المشكلة كانت قد حُلَّت جزئيًا على الأقل. كمثال، فإنه ليس مفيدًا رفع معدل التمثيل الغذائي عن طريق تنظيم حرارة الجسد باستعمال الشمس لو لم يكن هناك إمداد أكسجين موثوق يُعتمَد عليه للأنسجة.

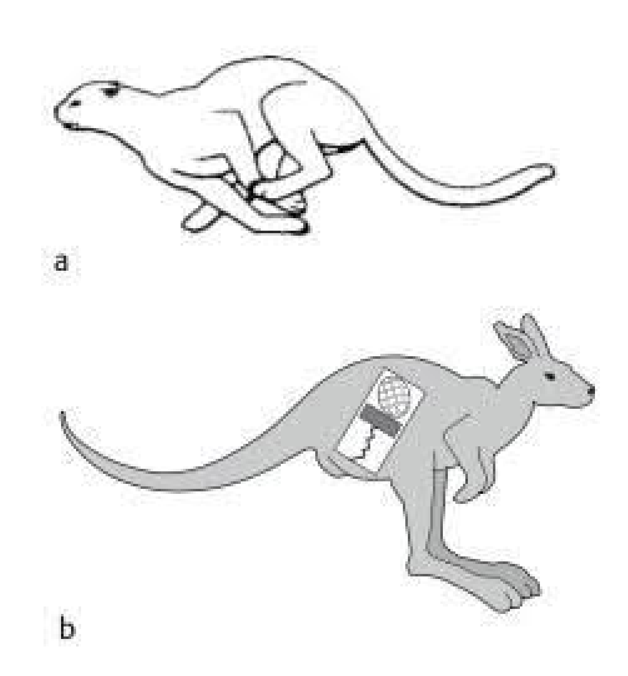
أقترح أن سر البليكوسورات كان تقوية الأعمدة الفقرية. فهي بوضوح لا تثني الجسد كثيرًا أثناء تحركها. وقد امتلكت أجسادًا طويلة وأطرافًا قصيرة نسبيًّا مقارنةً مع السحالي، وفي جميع الحالات لن تدير خطوة قصيرة الجذع كثيرًا ولا ستضغط وتلوي الرئتين. تصليب الجسد أيضًا عنى أيضًا أن معظم تدوير الطرفين الأماميين يقوم به ويتحمله مفصل الكتف، بدلًا من نقله إلى الجذع. علاوة على ذلك، كان للبليكوسورات حركة شبيهة بحركة عجلة اليد، فكان الطرفان الأماميان دعامتي دعم للجسد مقاوِمتين على نحو رئيسي، لذلك لم تضع العضلات المشغِّلة لهما جهدًا على جدار الصدر ما عدا لدعم مفصل الكتف. وكذلك، كان العضلات المديرة للحزام الحوضي متصلة بعيدًا عن الجدار الصدري.

هكذا كان لدى البليكوسورات حل جزئي وتلطيف خصوصي خاص بالزواحف ذوات الفتحة الصدغية الواحدة لقيد Carrier: فقد طورت تكيفات اقترب إلى حد ما باتجاه تقليل عواقبه. (وإن فهمْتَ هذه المسألةَ، فانظر من جديد إلى الهيكل العظمي للـIchthyostega [رباعي الأقدام الأولي ذي الأشواك السمكية] (الصورة ٨– ١٧). ربما كان هناك سبب مُناظِر للبنية الخصوصية لضلوعه). لكن البليكوسورات لم تستطع حل قيد كاريير Carrier. فلا يمكن أنها كانت تجري بحُريّة، أو تتنفس أثناء جريها.

تستطيع الأسماك السباحة في الماء بطاقةٍ ثابتة لأن قيد كاريير Carrier لا ينطبق على التنفس بالخياشيم. نفس الأمر ينطبق على الأرجح على التنفس الرئوي الخاص بالسلاحف البحرية (الترس)، لأن صدَفَتهم لا تسمح للرئتين بأن تنثنيا بينما هي تسبح أو تصعد إلى السطح للتنفس.

لقد طورت كثير من الفقاريّات البريّة الحية استجابة رائعة لتقييد كاريير. لقد حررت وفصلت آليات التنفس عن آليات الحركة بتطوير وقفة منتصِبة. فالجسد معلَّق بحرية أكثر من عند الكتف، سامحًا للصدر بالقيام بحركاته التنفسية بدون أي التواء البتة.

الحل التطوري لقيد كاريير الذي نتج عن الوقفة المنتصبة يُرَى على أفضل نحوٍ في العصر الحالي في الثدييات. طورت الثدييات الحجابَ الحاجزَ، وهو مجمووعة من العضلات لضخ الهواء إلى وخارج التجويف الصدري. يُمتَص الهواءُ إلى الداخل عندما ينقبض الحجاب الحاجز، ويُدْفَع إلى الخارج برد فعل خلايا الرئتين المطاطية. في نفس الوقت، تطورت الحركة في معظم الثدييات لتساعد على التنفس أثناء الجري. ينثني ويستقيم العمود الفقري في اتجاه إلى أعلى وأسفل مع كل خطوة واسعة، مما يؤدي إلى تمديد ثم قبض القفص الصدري بانتظام (الشكل ١١–٨). يمكن مزامنة هذا الضخ المنتظم الخاص بالتجويف الصدري مع حركة الحجاب الحاجز لتحريك الهواء إلى داخل وخارج الرئتين بجهد قليل. وهكذا تأخذ الحيوانات الراكضة بكامل سرعتها السائرة على الأربع _مثل الكلاب والأحصنة والخراتيت [حيوانات وحيد القرن] وحيوانات العَضْل [حيوان من من فصيلة الفأريات يعيش في المناطق الجافة بأفريقيا وآسيا الصغرى] والأرنب الأمِركي [أرنب ذو قائمتين خلفيتين طويلتين وأذنين طويلتين]_ نفسًا واحدًا لكل خطوة واسعة، وتأخذ الكناغر وكناغر الولب صغيرة الحجم نفسًا واحدًا لكل قفزة (الشكل ١١– ٨). الهرولة أو الخَبَب أكثر تعقيدًا بكثير، لكنها لا تضر بسياق حجتنا المقدَّمة هنا. يأخذ العداؤون البشريون في العادة نفسًا في كل خطوة واسعة جديدة. إنها حركة طبيعية تلقائية لدرجة أننا لا نلاحظها؛ ينبغي أن يجرِّب العدّاؤون أن يتنفسوا على نحو غير منتظم متجانس ليحصلوا على فكرة عن هذه الآلية.



الشكل ١١– ٨ الحيوان ذو الأطراف المنتصبة لا يدير أو يثني صدرَه بينما هو يجري بقدر ما تفعل الحيوانات متفرشحة الأرجل. الحال (أ) القط، وثدييات أخرى ومجموعات معيَّنة من رباعيات الأقدام تستطيع التنفس بينما هي تجري، ضاغطة الهواء إلى ثم خارج الرئتين بالتعاقب مع كل خطوة واسعة. الحالة (ب) الكنغر صغير الحجم أو المعروف بالولب يدفع الهواء إلى ثم خارج رئيته مع كل وثبة.

تتضمن حركة الحيوانات في العادة حركات دورية متكررة كالخطوات الواسعة الخاصة بالأطراف الراكضة أو الضربات الخاصة بالأطراف السابحة أو خفقات الأجنحة في الطيران. يصير التنفس أكثر فاعلية وكفاءة لو زومِن [وُقِّتَ] مع مراحل معينة لحركات الأطراف. هذا هام على نحو خاص في سباحة البشر، لكنه مبدأ عام. تزامِن الحشرات عملية تنفسها مع خفقات أجنحتها، فنفس الحركات العضلية التي تَرْفَع وتُخْفِض الأجنحةَ تقوم أيضًا بتمديد وكمش الجسد، مما يدفع الهواء إلى داخل وخارج الفوهات التنفسية [الفتحات الرُغامِيَّة، المُتَنَفَّسات: فتحات في الهيكل الخارجي للحشرات والعنكبيَّات]. وتقوم الطيور بنفس الأمر تقريبًا (انظر الفصل ١٣).

هذه المبادئ أجزاءٌ من فسيولُجيَّة الحيوان الأساسيّة، وينبغي أنها منطبقة على الحيوانات المنقرضة كما تنطبق على الحيوانات المعاصرة. بالتالي، ربما تكون الوقفة المنتصبة ضرورية لأجل ركض ثابت مستمر في أي حيوان بري، وينبغي أن تطورها يمثِّل تقدمًا كبيرًا في أي خط تحدر لرباعيات أقدام،

مانحةً الأساسَ لسرعة ركض وقدرة على التحمل مُحَسَّنتين. إن الزواحف الحية المعاصرة ناجحة، لكنها محدودة مقصورة في أدوارها الإيكولُجيَّة التي تستطيع القيام بها لأنها تمتلك وقفة متفرشِحة [متباعدة الأرجل] ولا تستطيع الحفاظ على حركة سريعة لفترة طويلة جدًّا.

لا تمتلك الزواحف ثنائية الفتحات الصدغية في العصر الحالي _كالسحالي_ وقفة منتصبة ولا سعة طاقة ثابتة، لكن لا يجب أن ننخدع ونتساق إلى الاعتقاد بأن كل الزواحف ثنائية الفتحات الصدغية افتقدت دائمًا هذه القدرات. اقترح David Carrier أن الزواحف ثنائية الفتحات الصدغية الخاصة بالعصر الترياسي _وخاصة الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالزواحف الحاكمة archosauromorphs _ كانت أول السلويَّات التي قامت بالتطور الكبير للمشية المنتصبة والحركة السريعة الثابتة. هذا التقدم الكبير محفوظ في سجل المتحجرات في بنية الأطراف والأحزمة الكتفية الخاصة بالزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالزواحف الحاكمة archosauromorphs المبكِّرة. لقد كانت الوقفة المنتصبة والحركة الثابتة الابتكار الرئيسي على الأرجح الذي انتزاع الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين _وخاصةً الزواحف الحاكمة archosaur_ للسيادة ممكِنًا في العصر الترياسي المتأخر.

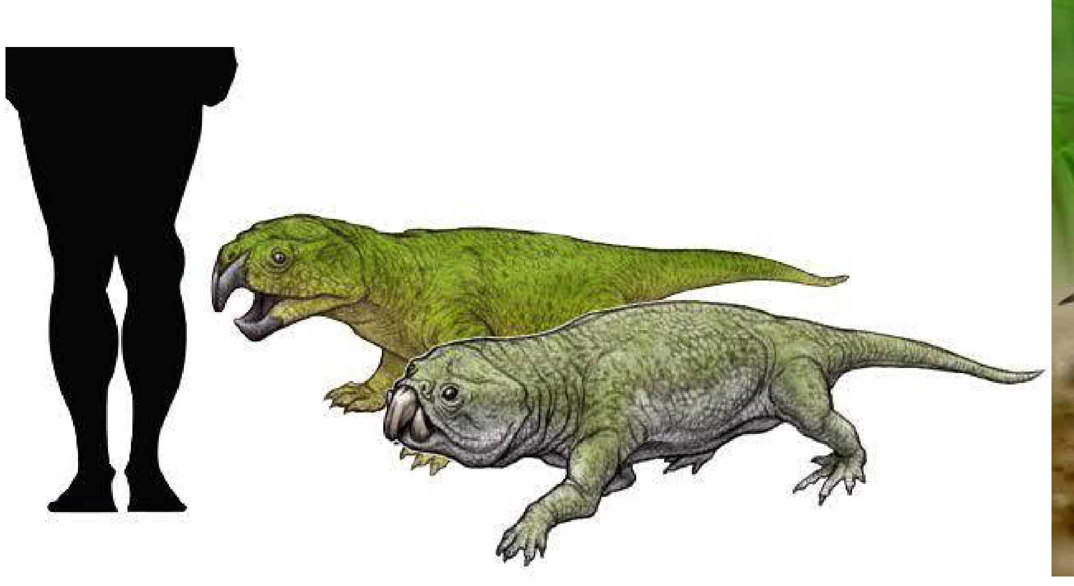
أقترح هنا أن مصادفةً تاريخية لعبت دورًا مهمًّا في تكوين الاختلافات بين الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين diapsids الترياسية والزواحف وحيدة الفتحة الصدغية synapsids الترياسية. فقد تطورت الزواحف وحيدة الفتحة الصدغية الثيراسيديّة Therapsids [الشبيهة بالثدييات] إلى حد كبير في المناخات الباردة الخاصة بالعصر البرمي المتأخر، في شمالي قارة لوراسيا القديمة [قارة قديمة كبيرة كانت وحدة بريّة واحدة نشأ عن تجزئها وانجراف أجزائها القارات الثلاث أوربا وآسيا وأمركا الشمالية] وجنوبي قارة جُنْدُوانا القديمة [قارة قديمة كبرى من أواخر دهر الحياة القديمة، في نصف الكرة الجنوبي، تكونت بعد انقسام قارة بانجيا الأم إلى جندوانا ولوراسيا، وكانت تضم القطب الجنوبي وأفريقيا وأستراليا والهند وأمركا الجنوبية ووحدات صغيرة أخرى]، بينما تطورت الزواحف ذوات الفتحتين الخاصة بالعصر البرمي في مناخاتٍ أدفأ. إن جزءًا من الصفات المتلازمة المحافِظة على الحرارة في المناخات الباردة هي امتلاك أجساد مربوعة [قصيرة سمينة] مكتنِزة وأطراف ولواحق قصيرة، وقد كانت الثيرابسيديَّات ذوات بنية على هذا النحو بصورة مُمَيَّزة (كمثال، الصورة ١٠– ١٢). على النقيض، كان للزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين ذيولًا طويلة قوية، وكانت معظم أوزانها مرتكزة على الطرفين الخلفيين. لقد كان أسهل نسبيًّا على الزواحف ذوات الفتحتين الصدغيتين أن تتطور لتصير سائرة على قدمين جزئيًّا أو كليًّا، وبالتالي أن تطور أطرافًا منتصبة من خلال وقفة على قدمين اثنين. أما الثيرابسيديَّات بذيولها القصيرة فلم يكن لها ذلك الخيار؛ فكلها كانت سائرة على أربع مع وجود قدر كبير من الوزن على القدمين الأماميتين. ربما كان صعبًا الإفلاتُ من طريقة مشي عجلة اليد التي وَرَثَتْها الثيرابسيديَّات من البليكوسورات، وخاصة نظرًا لأحجامها الأكبر. لم تتطور الوقفة المنتصبة الحقيقية بين ذوات الفتحة الصدغية الواحدة _وهي الحل لقيد كاريير_ حتى ظهور الثدييات الضئيلة الخاصة بالعصر الجوارسي المبكر.

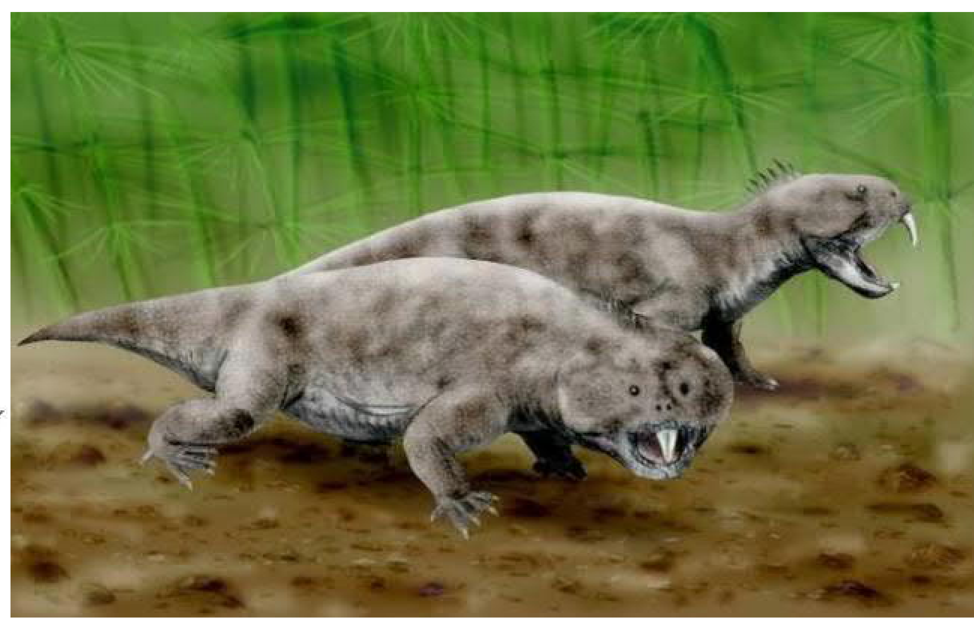
الرَينْشْسورات Rhynchosaurs (الزواحف البدائية، يعني اسمها حرفيًّا بالجريكية الزواحف ذوات الخطم)

تطورت الزواحف ذوات الخطم rhynchosaurs في العصر الترياسي الوسيط والمتأخر مع اضمحلال معظم الزواحف الثيرابسيدية [الشبيهة بالثدييات] كبيرة الأحجام النباتية واندثار بعضها. لقد كانت كلها حيواناتٍ نباتية بحجم الخنزير ذوات خطوم معقوفة تحمل منقارًا قاطعًا قويًّا وطرفين خلفيين يبدوان كما لو أنهما استُعْمِلا للحفر ربما للبحث عن الجذور والدرنات (الصورة ١١– ٩). وامتكلت فكوكًا حادة تحمل مصفوفاتٍ من الأسنان القاطعة، والتي هي ذات صفة غير معتادة بين الزواحف في كونها ملحومة بالعظم عند قاعدتها، وليست موضوعة في تجاويف عادية. كانت الأسنان دائمة النمو ولا تُستبدَل أثناء حياتها. في أثناء نمو الزواحف ذوات الخطم rhynchosaurs، كانت تضيف ببساطة عظامًا أكثر وأسنانًا أكثر في مؤخر فكها النامي بينما كانت الأسنان التي في مقدمة الفك تبلى. أتاح هذا النمطُ الخاص بإضافة الأسنان الزواحفَ ذواتِ الخطم دقةً كبيرةً في تموضع الأسنان، لذلك كانت قضمتها فعالة جدًّا لتقطيع النباتات بحركة شبيهة بحركة المقص. وصلت الأنواع المتقدمة منها إلى طول يصل إلى مترين، وكانت الجمجمة في الأنواع المتقدمة منها قصيرة عريضة مثلثية الشكل، وصارت في الأشكال الأكثر تقدمًا مثل (Hyperodapedon) Scaphonyx فيها العرض أكبر من الطول، مع مع منطقة خديّة عميقة، وامتدت قادمة الفك العلوي إلى الخارج والأسفل لتكوّن المنقار العلي. وكانت الجمجة العريضة تتلاءم مع عضلات فكية قوية. وكان الفك السفلي أيضًا عميقًا، وعندما كان الفم يُغلَق كان يقفل بإحكام على الفك العلوي، كنصل مطواة تغلق على مقبضها (غمدها) في حركة شبيهة بحركة المقص.

يصعُب تصنيف الزواحف ذوات الخطم rhynchosaurs بسبب سماتها الخصوصية. لقد كانت على الأرجح مجموعة زواحف ذوات صفات شبيهة بالزواحف الحاكمة archosauromorph بدائية قاعدية. لقد كانت وفيرة وواسعة الانتشار في العصر الترياسي الوسيط والمتأخر وربما حلت محل مجموعات الثيرابسيديَّات لأنها كانت قد طورت هي أيضًا وقفةً منتصبة. رغم ذلك، فقد صارت ذوات الخطم منقرضة سريعًا عند نهاية العصر الترياسي.

الصورتان ١١- ٩ جمجمة Scaphonyx [يعني اسمه ذو المخالب الغليظة، ويسمى كذلك Hyperodapedon] من الزواحف ذوات الخطم في العصر الترياسي، وبنيانه الجسدي العام، وقد كان طوله حوالي متر (٣ أقدام).

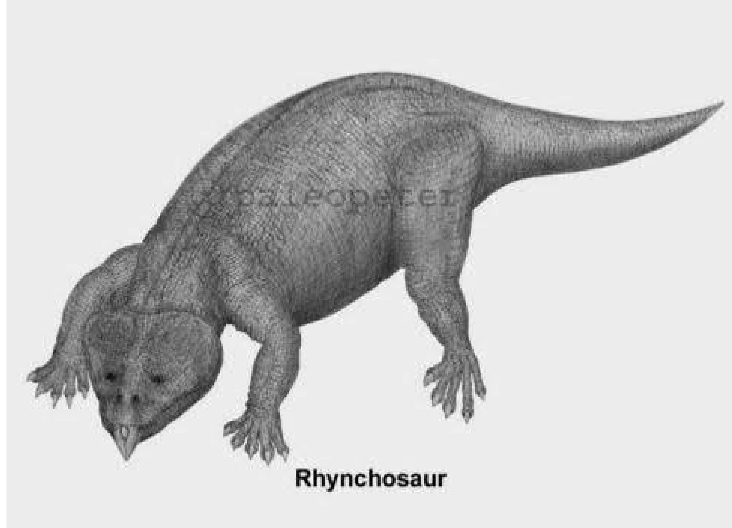








Paradapedon





بعض أنواع الزواحف ذوات الخطم كما تصور الرسامون المتخصصون أشكالها أثناء حيواتها

التحرك في الزواحفِ ذوات الصفات الشبيهة بصفات الزواحف الحاكمةِ [المهيمنة] archosauromorphs في العصر الترياسي

لقد كان هناك تطور متكرر متناظر للقدرة المتطورة على الحركة ضمن الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالزواحف الحاكمة archosauromorphs المبكرة.

كانت الكثير من الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالزواحف الحاكمة archosauromorphs المبكرة لواحم [مفترِسات] مثيرةِ للإعجاب، لكنها كانت ضخمة وسائرة على أربع على نحوٍ غالب، مثل الـ Archosaurus [رغم اسمه فهو ليس من الزواحف الحاكمة!] من العصر البرمي المتأخر في روسيا (الصورة ١١– ١٠).



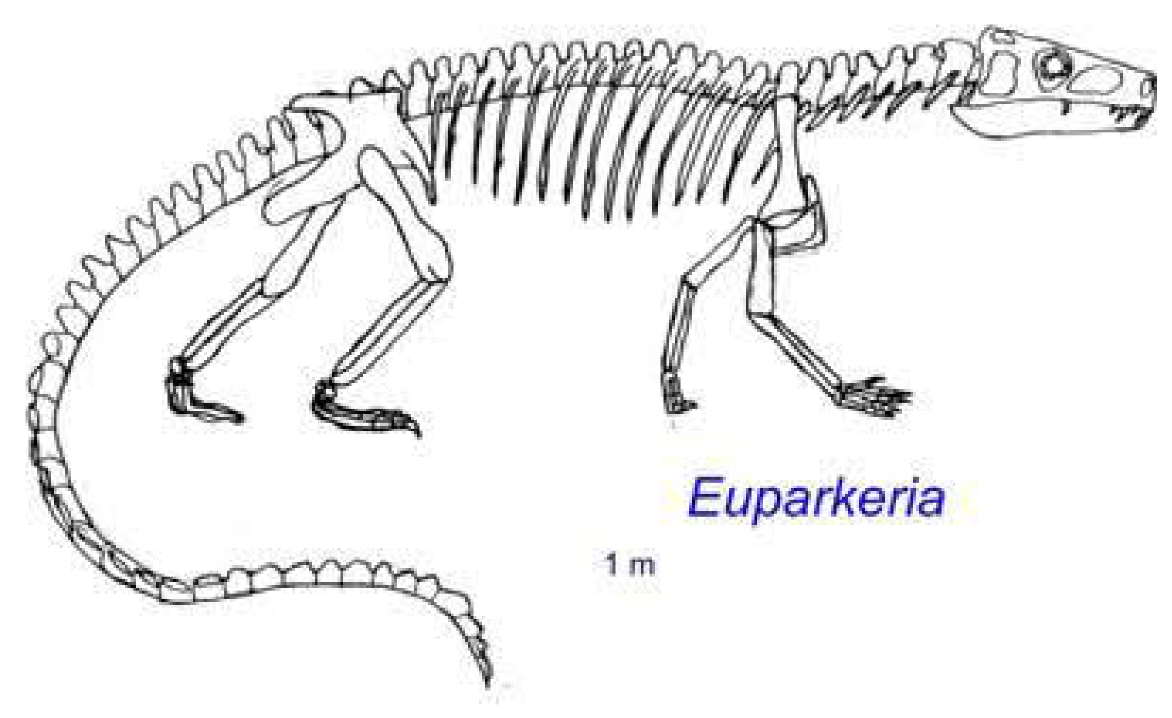
الصورة ١١– ١٠ من العصر البرمي المتأخر فيما هو حاليًّا روسيا. إن إحدى القواعد الطريفة لعلم التصنيف حسب الفروع التطورية أنه رغم اسمه ليس من الزواحف الحاكمة archosaur بل هو فقط من الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالزواحف الحاكمة. وأيًّا ما كان ما يُسمى به، فقد كان بوضوح ذا مظهر مثير لإعجاب معاصريه!

Archosaurus rossicus

إن أكثر زاحف حاكم أولي بدائي معروف جيدًا عنه هو Euparkeria [زاحف باركر]، من جمهورية جنوب أفريقيا. لقد كان كبير الحجم، ومفترسًا أكثر رشاقة وسرعة من Heleosaurus [زاحف السبخات الصغير الحجم]. لقد كان طوله حوالي متر، خفيف البنية جدًّا، وذا ذيل طويل قوي لإعطائه توازنًا أثناء جريه. كانت جمجمته طويلة وخفيفة، وبها أسنان طاعنة حادة طويلة كثيرة (الصور ١١- ١١). كان زاحف باركر [Euparkeria] راكضًا سريعًا بوضوح وعلى الأرجح ركض على قدمين اثنين لكن ربما يكون مشى على كل الأربع أقدام. لعل سرعته ورشاقته عزَّزَت نجاحَه مقارنةً بالثيرابسيديَّات المعاصرة له. كانت الأطراف متموضعة مباشرةً تحت الجسد، مما قلل الضغوط الآلية الحركية الخاصة بالجري السريع وسمح بجري ثابت مستمر. قد يكون زاحف باركر [Euparkeria] السلفَ المشترك للتمساحيَّات والزواحف الطائرة مستطالة الإصبع الرابع [pterosaurs] والديناصورات (الصورة ١١- ١٢)



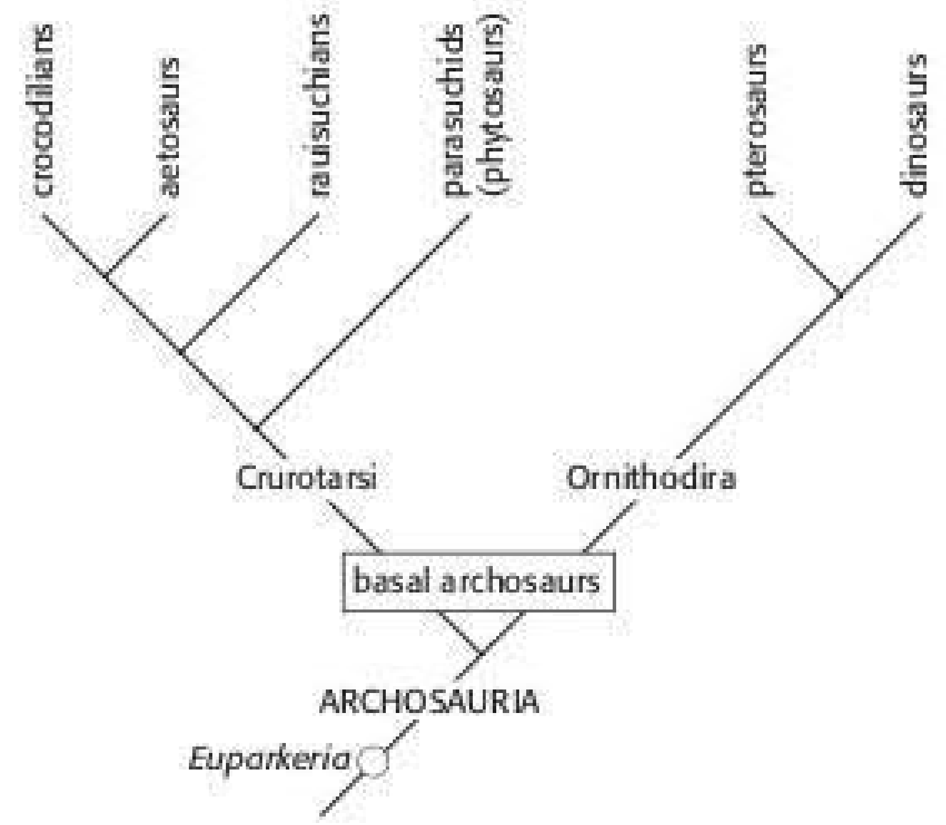




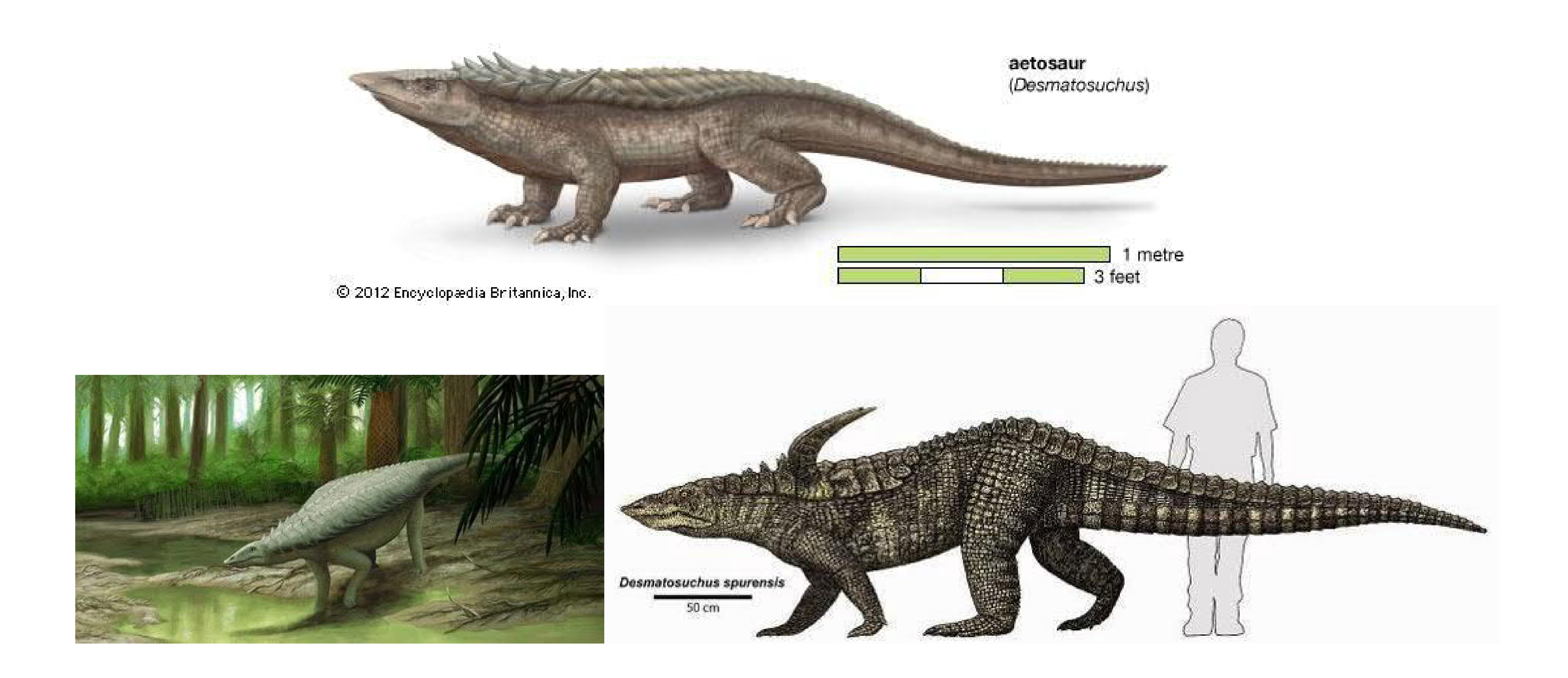
الصورة ١١- ١ Euparkeria [زاحف باركر] زاحف من النوع thecodont [ذي الأسنان المثبتة في تجاويف في عظام الفك] هو مرشح معقول كزاحف حاكم عمومي الصفات وسلف للديناصورات.



إعادتا بناء لزاحف باركر Euparkeria



الشكل ١١– ١٢ مخطط تطوري محتمَل أكثر تفصيلًا يظهر العلاقات التطورية بين الزواحف الحاكمة، فتتشعب فيه من الزواحف الحاكمة الأولية إلى فرعين تطوريين" ساقيَّات الرسغ أو التمساحيات Crurotarsi وذوات أمشاط الأرجل طيرية الشكل Ornithodira وتعرف كذلك بـ Avemetatarsalia. تنقسم ساقيَّات الرسغيّات أو الكاحل إلى التمساحيات الحقيقية والأيتوسورات [رتبة منقرضة من الزواحف الحاكمة كانت نباتية مدرعة تدرعًا ثقيلًا وذوات أحجام من متوسط إلى كبير، عاشت في العصر الترياسي المتأخر، وكان لها رؤوس صغيرة مقارنة بحجم الجسد الكبير، ومميز جدًّا في شكله لكونه مسطحًا وأثلم الشكل من الأمام، كخطم الخنزير. كانت بعض الأسنان شبيهة بالأزاميل صغيرة كشكل أوراق الشجر، مما يدل على نظام غذائي نباتي مرجَّح. وكان لها خطوم متجهة إلى أعلى وأطراف منتصبة وجسد مغطى بصفائح عظمية] وتمساحيات راو [سبق الحديث عنها] والفيتوسورات [Phytosaur فصيلة من الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالزواحف الحاكمة، من العصر الترياسي المتأخر، نصف مائية في حياتها، وكان لها دروع ثقيلة، وشابهت ظاهريا شكليا التماسيح كتطور متناظر لانها كانت آكلة للأسماك. أما وذوات أمشاط الأرجل طيرية الشكل فتنقسم إلى الزواحف الطائرة مستطالة الإصبع الرابع والديناصورات، ومن الديناصورات تنحدر الطيور المعاصرة كما هو معلوم].

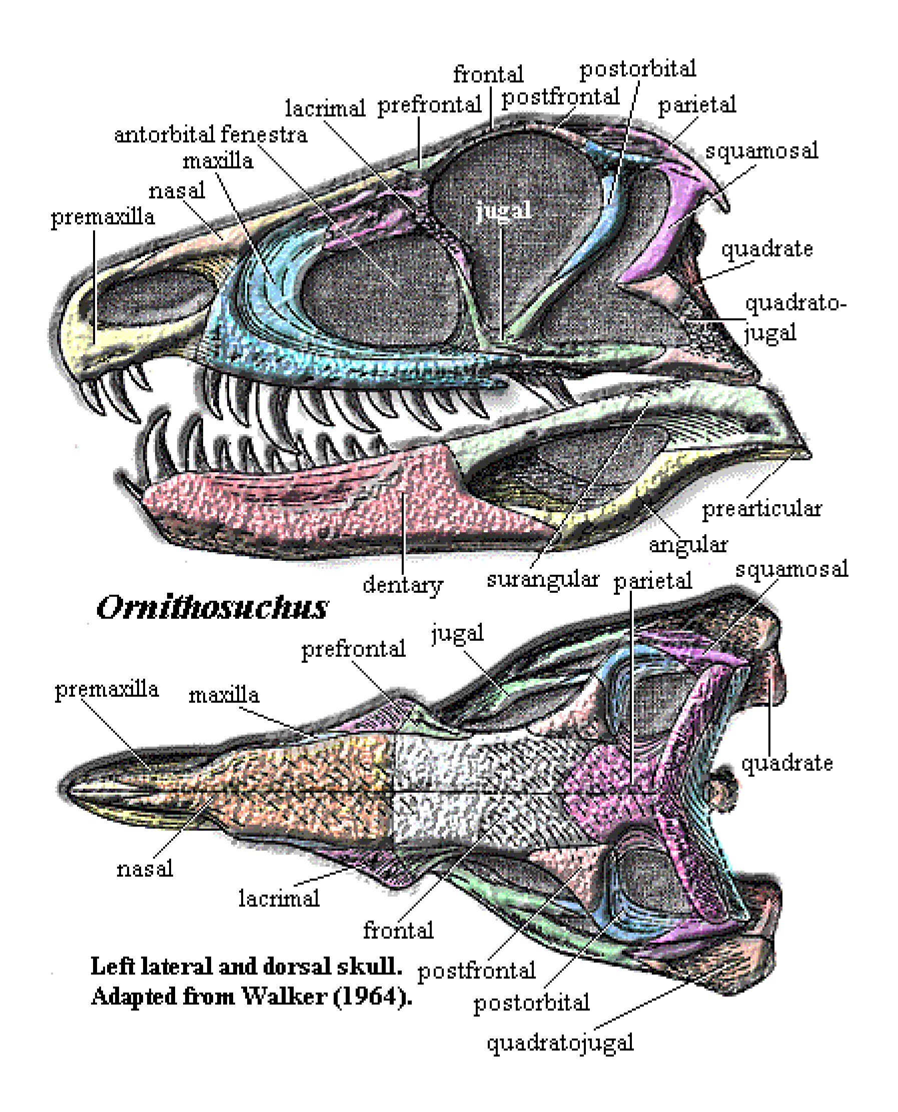




بعض أنواع الأيتوسورات، فصيلة منقرضة من الأقارب التطورية البعيدة للتماسيح

للمشي والجري على قدمين اثنتين، ينبغي أن تتحرك الرجلان على نحو رئيسي إلى الأمام، وذلك يعني أن مفصل الكاحل ينبغي ليس فحسْب أن يتمفصل في اتجاهٍ إلى الأمام والخلف، بل وينبغي مثبَّتًا جيدًا بحيث لا يتخبط يمينًا ويسارًا وينثني باتجاه الجانبين. هناك الكثير من العظام في منطقة الكاحل، وعلى الأرجح بسبب هذا الإرث الهيكلي، فقد كان هناك أكثر من مفصل واحد كان سيُمْكِن له أن يعاد إنشاؤه إلى بنية كاحل كفؤ للجري على قدمين. هناك خطا تحدر للزواحف الحاكمة يمكن تمييزهما على هذا الأساس: ساقيّات الكاحل Crurotarsi أو التمساحيَّات والتي طورت المفصل الذي لا يزال يُرَى في العصر الحالي في التماسيح، وذوات أمشاط الأرجل الشبيهة بالطيرية Ornithodira، والتي طورت المفصل الذي لا يزال يُرَى في العصر الحالي في الطيور (المخطط التطوري ١١– ١٢). استغل كلُّ خطٍّ تحدرٍ الكاحلَ ليحقِّقَ وقفةً أكثرَ انتصابًا، وهو ما بلغ أوجه ليس فقط في الديناصورات منتصِبة الأطراف، بل وفي ساقيَّات الكاحل منتصبة الأطراف أيضًا.

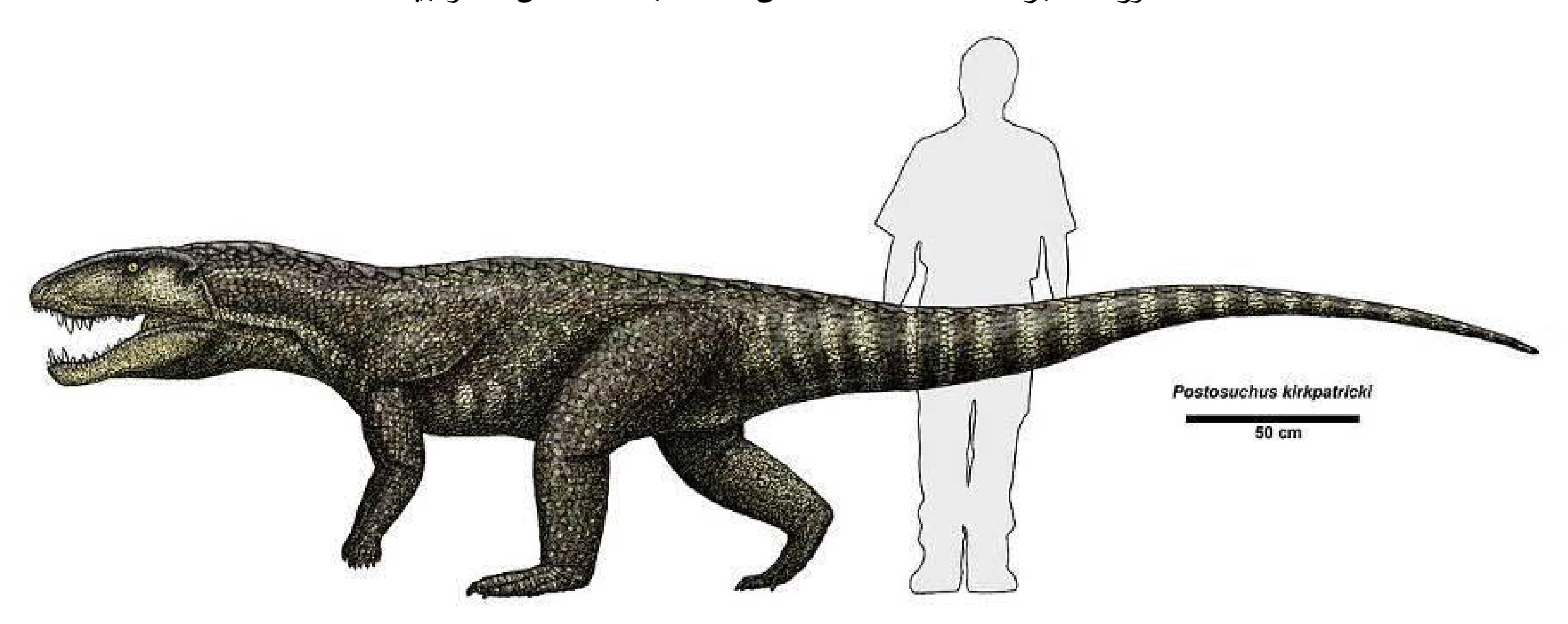
لمعظم العصر الترياسي الوسيط والمتأخر، كانت أكبر المجموعات اللاحمة [المفترِسة] هي تمساحيات راو rauisuchians، والتمساحيات ذوات المشية والوقفة الشبيهة بالخاصة بالطيور والثدييات أو المعروفة بالتماسيح طيرية الوقفة والمشية ornithosuchians من فصيلة pseudosuchians [شبيهات التماسيح]، والتي يجسد صفاتها أحد أنواعها المعروف بـOrnithosuchus [التمساحي طيري الوقفة والمشية] (الصورة ١١– ١٣). كلا النوعين احتوى على حيوانات كبيرةِ الأحجام واسعة الانتشار جغرافيًّا منها السائرة على قدمين والسائرة على أربع. وكان النوع Postosuchus [يعني اسمه تمساحيّ بوست من فصيلة تمساحيات راو Postosuchus، نسبة إلى مقلع أحجار بوست Post Quarry في تكساس في أمركا الشمالية حيث اكتشفت له الكثير من المتحجرات، كان له هيكل عظمي قوي كبير الحجم مع جمجمة ممتدة من الأمام إلى الخلف بعمق وذيل طويل، ويوحي القصر الشديد لطرفيه الأماميين مقارنة بطرفيه الخلفيين والصغر الشديد ليديه ومقاييس العمود الفقري بأنه كان متكرسًا للمشية على قدمين اثنتين] _من العصر الترياسي المتأخر فيما هو حاليًّا ولاية تكساس_ ذا طول حوالي ٤ أمتار بما فيها الذيل، ووقف بارتفاع مترين. لقد كان خفيف البنية ومشى وركض على قدمين. وقد كان صيَّادًا ذا رأس ضخم قاتل، ذا فكين واسعي الفتحة مثيرين للإعجاب، وأسنان حادة طاعنة وقاطعة مسنَّنَة. وكانت عيناه كبيرتين ومتموضعتين إلى الأمام لأجْلِ رؤية مجسَّمة ثلاثيّة الأبعاد، مع حاجبين عظميين لتظليلهما. إن تمساحيّ بوست Postosuchus يشبه على نحو شديد نسخة صغيرة من الديناصورين اللاحمين اللاحقين زمنيًّا الأكبر حجمًا بكثير؛ ديناصوري الألوسور Allosaurus [يعني اسمه اللاتيني الزاحف الآخَر] والتيرانوسور Tyrannosaurus [الديناصور الجبار] في التخطيط العامّ المجمَل للجسد ويُحتمَل في الإيكولُجِيَّة [طريقة الاعتياش].



الصورة ١١– ١٣ طور الزاحف الحاكم الأوَلِيّ Ornithosuchus [التمساحيّ ذو الوقفة الشبيهة بالخاصة بالطيور] الكثير من التكيفات بالتناظر والتلاقي ليس فقط مع تمساحيات راو rauisuchians مثل تمساحي بوست Postosuchus، بل وأيضًا مع ديناصورات لاحمة لاحقة زمنيًّا، رغم انتمائه لساقيات الكاحل أو التمساحيات وليس إلى الديناصورات. كان طول جمجمته ٢٥ سم (قدم واحدة).



صورة لمتحجرة Ornithosuchus من متحف جامعة تكساس للتكنولُجيا



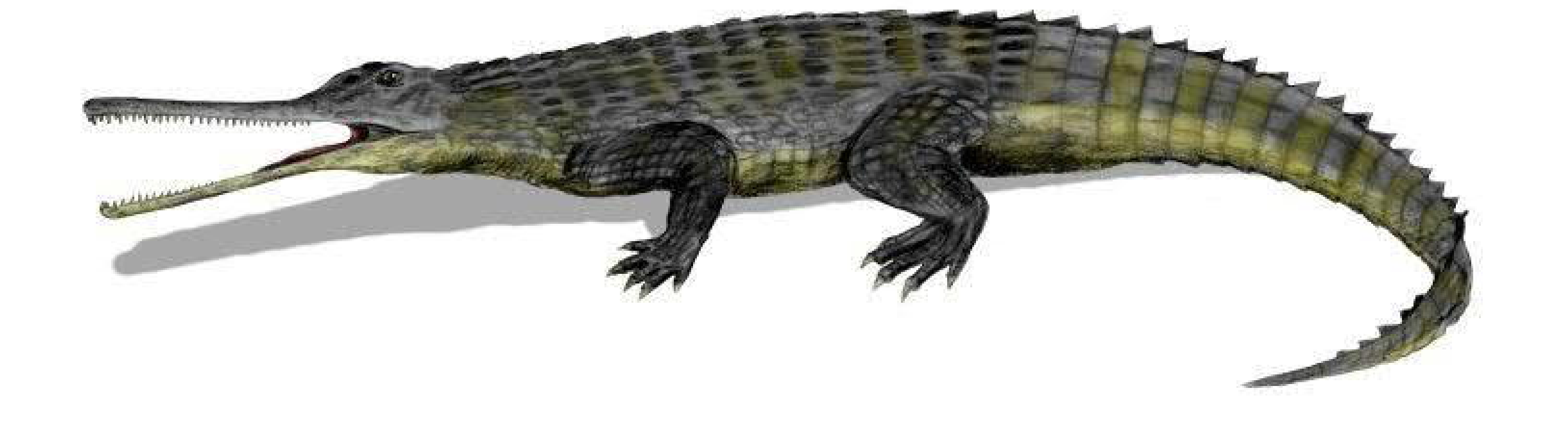
تمساحيُّ بوست Postosuchus

ربما كانت تلك اللواحم قريبة في الإيكولُجيَّة [طريقة الاعتياش] لسحالي الورل الحية المعاصرة، والتي تمتلك وقفة شبه منتصبة وهي مفترسات نشيطة مع درجة حرارة جسدية مفضَّلة قريبة من ٣٧ درجة (٩٨ فهرنهايت). وسحلية تنين كومودو الإندونيسية هي المفترِس المتربع قمة الهرم الغذائي في نظامها الإيكولُجي، وذوات وزن يفوق المئة كيلوجرام (٢٠٠ رطل). كانت الكثير من الزاوحف الحاكمة الأولية من العصر الترياسي في الأغلب بنفس الحجم، وكان سبب كونها كانت أكثر نشاطًا _لو كان هناك أي سبب [فالسبب الرئيسي والأجدر هو]_ لأنها امتلكت وقفة منتصبة واستطاعت على الأرجح الركضَ بسرعة وأكثر.

"استكشفَتْ" بعض ساقيَّات الكاحل [crurotarsians التمساحيَّات] طريقة للاعتياش نربطها ذهنيًّا في العصر الحالي بالتماسيح؛ وهي الكمون والصيد عند حافة الماء. كانت الـ Parasuchids (تُدعى أحيانًا بالفيتوسورات phytosaurs) لواحم [مفترِسات] كبيرة الأحجام طويلة الخطوم عاشت في النطاق الاستوائي الخاص بالعصر الترياسي المتأخر. لقد تطوروا باتجاه مظهر وإيكولوجيَّة شبيهين بالخاصين بالتماسيح (الصور ١١– ١٤). لقد عُثِر على متحجرتي نوع من الفيتوسورات من الهند كلٌّ منهما ذو طول أكثر من مترين (٧ أقدام)، وبمعدتيهما محتويات تتضمن زواحف حاكمة صغيرة الأحجام، وكان أحدهما قد أكل أحد الزواحف ذوات الخطم rhynchosaur.

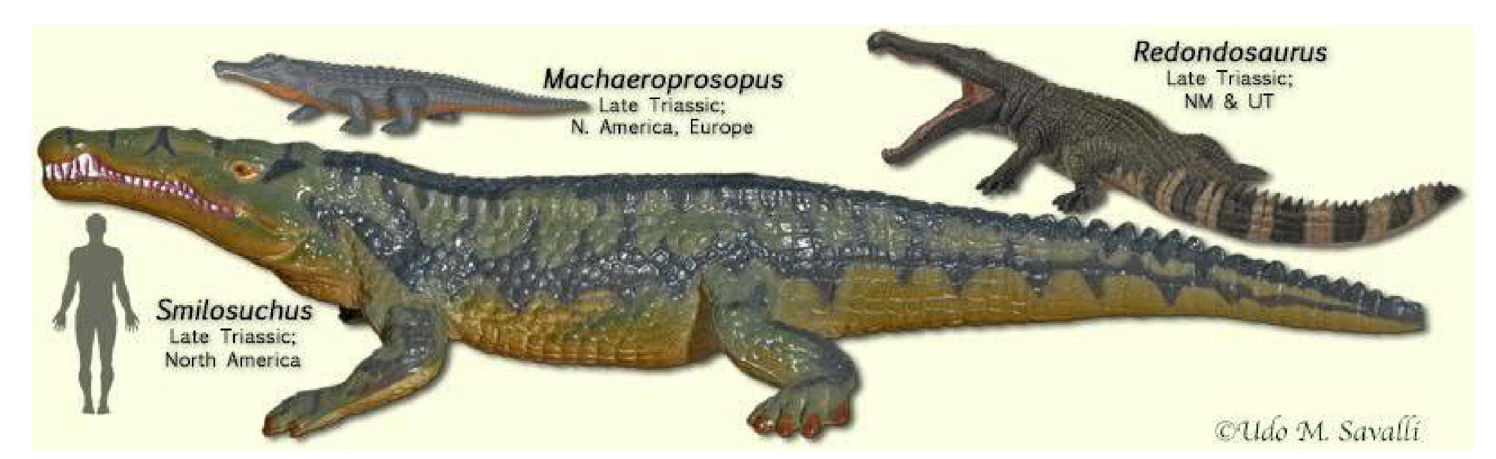

المتحف الأمِركي للتاريخ الطبيعي American Museum of Natural History





الصور ١١– ١٤ الفيتوسوري من العصر الترياسي Rutiodon [يعني اسمه ذو الأسنان المعوجة]. من رتبة الزواحف الحاكمة، فصيلة الفيتوسوريات، وكان طوله يترواح ما بين ٣ إلى ٨ أمتار، وهو معروف من متحجرات من شرقي الولايات المتحدة (شمال كارولينا، ونيويورك، ونيوجيرسي). وكالفيتسوريات الأخرى شابه ظاهريًّا التمساح، لكن منخاريه كانا متموضعين إلى الوراء أكثر على الرأس، قرب العينين، بدلًا من عند طرف الخطم. وكان له أسنان أمامية، وفك ضيق نسبيا، مشابه إلى حد ما للخاص بتمساح جارِفال أو

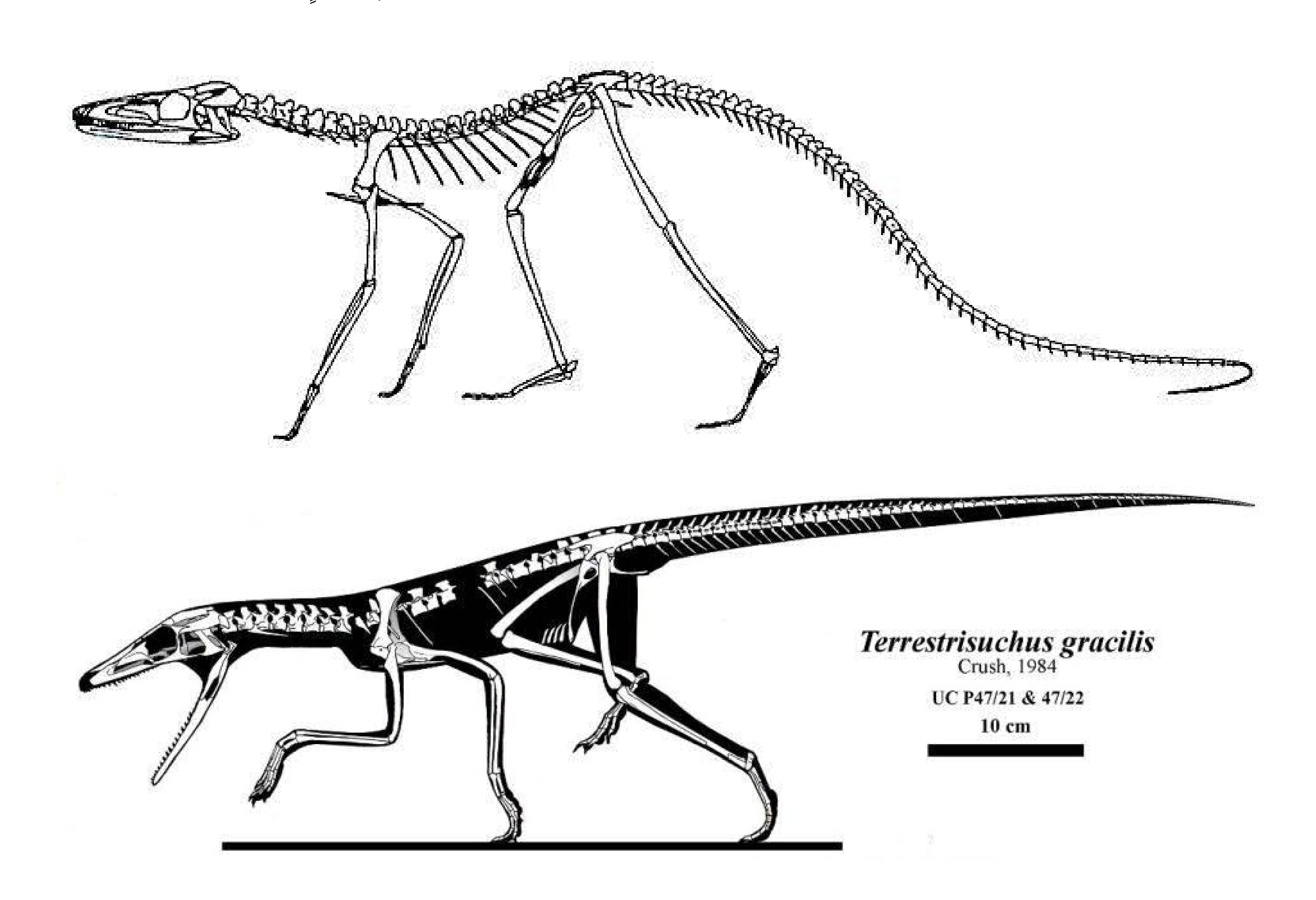
جاريال الشمالي هندي gharial or gavial الآكل للأسماك المهدد بالانقراض للغاية الآن بفعل صيد البشر. وهذا يقترح أن ذلك اللاحم كان يصطاد الأسماك على الأرجح، وربما اختطف أيضًا الحيوانات البرية من عند حافة الماء. وكالتماسيح المعاصرة كان ظهره وذيله وجانباه مغطيين بصفائح درعية عظمية.

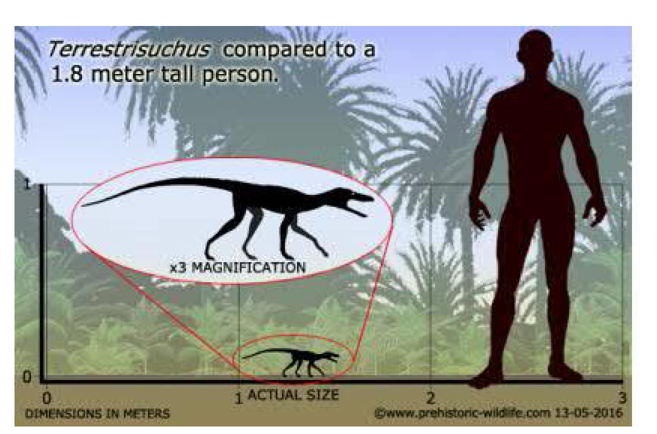


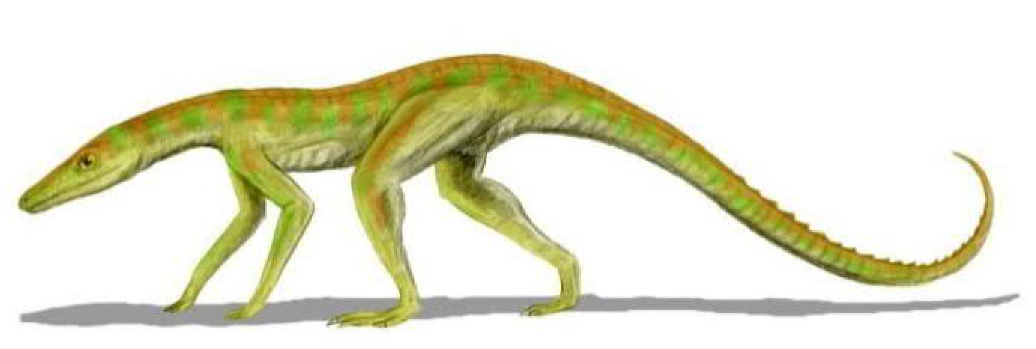
الفيتوسوريات Phytosaurs

يُمكن جدًّا أن تكون التماسيح الحية المعاصرة مرشِدًا إلى حدٍّ ما إلى فسيولُجيَّة وطريقة حركة وإيكولُجيَّة [طريقة اعتياش] الفيتوسوريات Phytosaurs [الباراسوكويَّات Parasuchids]. للتماسيح نظام دوري جيد، بقلب أكثر تقدمًا وتعديلات على الرئتين مما في الزواحف الحية المعاصرة الأخرى. ورغم أنها تسير ببطء على نحو معتاد على البر، بوقفة متفرسحة، فإنها أيضًا قادرة على جري أسرع تكون فيه الأطراف عمودية تقريبًا. يستطيع تمساح الماء العذب الصغير الحجم الأسترالي أن يعدو (لفترةٍ وجيزة) بسرعة تعادل ١٦ كم في الساعة (١٠ أميال في الساعة)، أما بعض الفيتسورات فقد استطاعت أن تقوم على الأرجح بما هو أفضل من ذلك بكثير. تُبرهِن التماسيحُ على أنه من المتكلف الزائف تصنيفُ الحيوانات على أنها تمتلك هيئة وقفة ومشية واحدة مُمْكِنة، ورغم ما قيل آنفًا فكثير من الحيوانات تتخصص في وقفة واحدة أو أخرى.

اندثرت الفيتوسورات [أو الباراسوكيّات] عند نهاية العصر الترياسي، مع الكثير من مجموعات الزواحف الحاكمة الأخرى. لقد حلت محلها في الكوة [الفراغ، الدور] الإيكولُجي [طريقة الاعتياش] التمساحياتُ الحقيقيةُ. كانت التمساحيات الحقيقية المبكرة مفترِسات بريَّة صغيرة الحجم طويلة الأرجل. بدا بعضها _من العصر الترياسي المتأخر في أورُبا الغربية وشرقي أمركا الشمالية_ كلواحم راكضة ذوات بنية خفيفة (الصورة ١١- ١٥). لاحقًا تكيفت بعض التمساحيّات الحقيقية مع الماء، وحلت محل الفوتوسورات، وبعد ذلك فقط صارت أكبر حجمًا بكثير. وطورت حنكًا ثانويًّا لكي تستطيع القضم والمضغ تحت الماء بدون غمر منخاريها بالماء، وفقدت بعض سمات وقفتها البريّة، وصارت متفرشحة على نحوٍ ثانويٍّ.







الصورة ١١– ١٥ Terrestrisuchus [التمساح البري]، تمساح بري مبكر سريع الجري من العصر الترياسي المبكر في بريطانيا. وهو جنس منقرض من التمساحيات الحقيقية ذوات الصفات الشبيهة بالتماسيح crocodylomorph المبكرة. عُثِرَ على متحجراته في الجزر البريطانية وتؤرخ بالعصر الترياسي المتأخر، وهو كائن شبيه بالسحلية صغير الحجم نحيل ذو أرجل طويلة، لا يحمل شبهًا كبيرًا بالتماسيح المعاصرة. والتي هي أقارب بعيدة له. وكان طوله يتراوح ما بين ٥٠ سم أو ثلاثة أرباع المتر في تقديرات أخرى إلى المتر وكان وزنه حوالي ١٥ كجم. يقترح شكل أرجله أنه كان قادرًا على الجري السريع. وكان ذيله طويلًا ضعف طول الرأس والجسد مجتمعين، وربما استُعمِل في التوازن ليمكن الحيوان من رفع رجليه الأماميتين والجري على قدميه الخلفيتين فقط. كانت أرجلها تحت أجسادها بالضبط مما يعني أنها كانت حيوانات راكضة وعملت أرجلها كأزواج للركض.



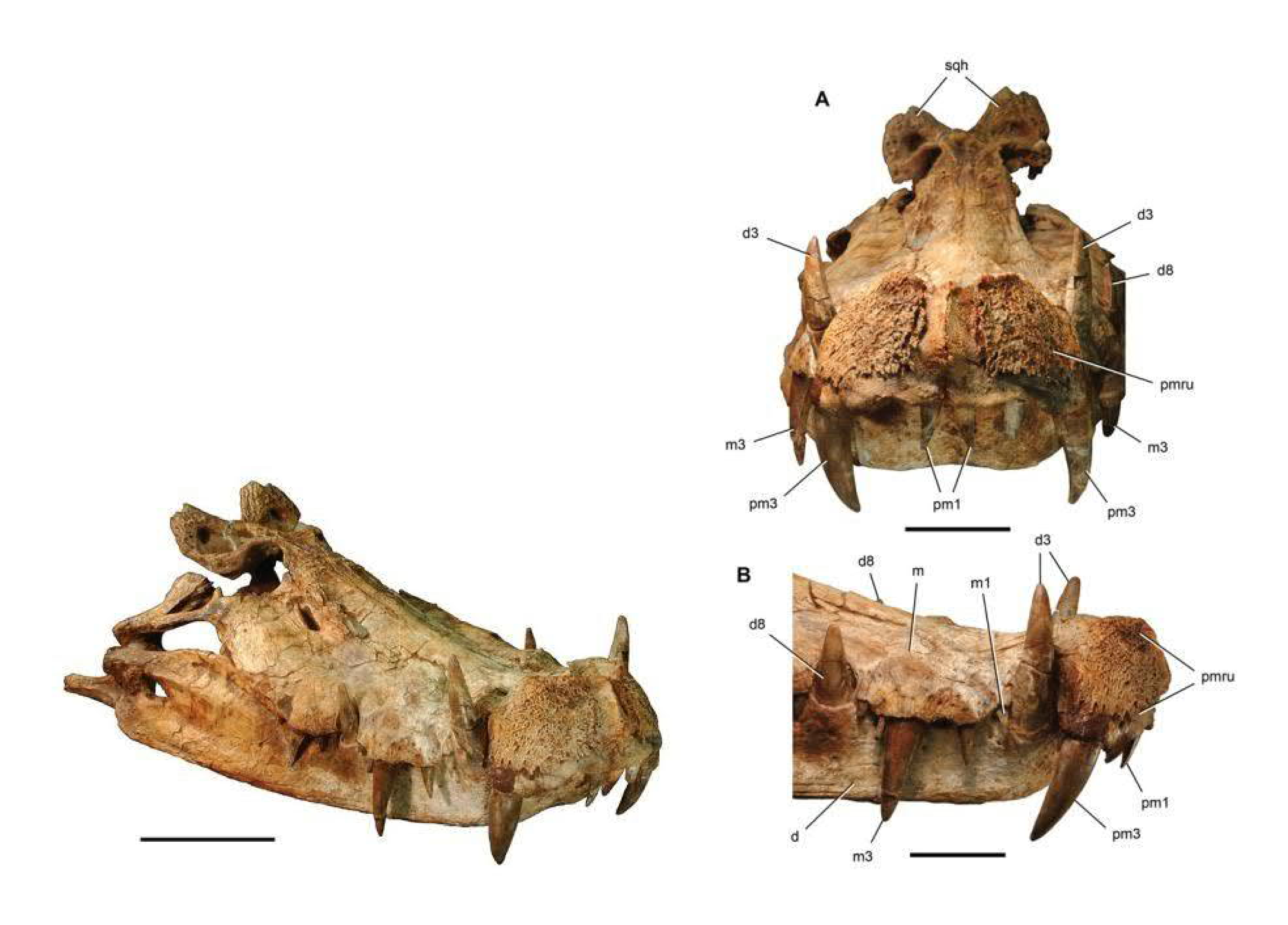


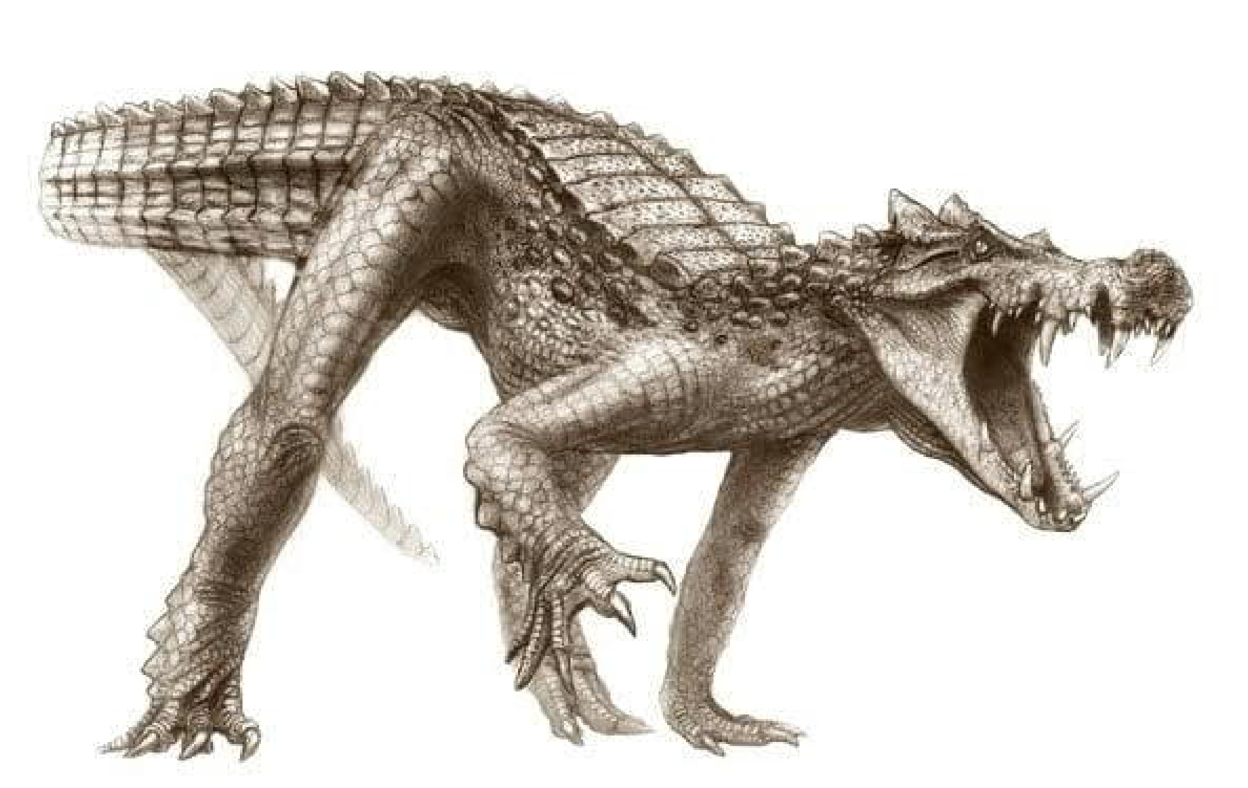
Montealtosuchus من البرازيل



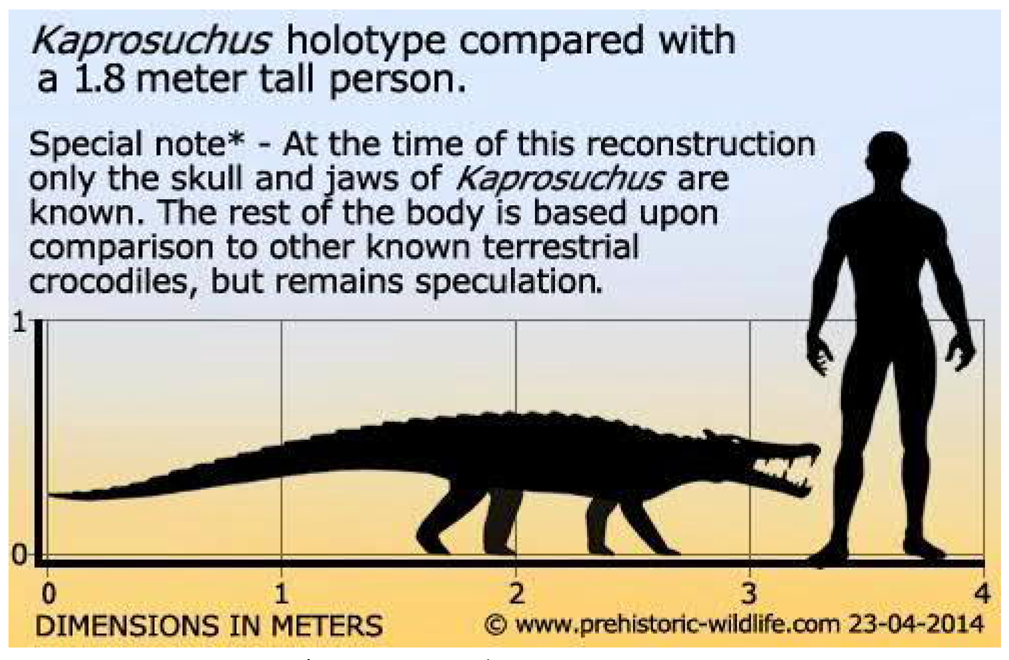
البروفيسوران اللذان اكتشفا متحجرات التماسيح البرية في الصحراء الكبرى، في النيجر والمغرب.

From university of Chicago Professor Paul Sereno (left) and McGill University Associate Professor Hans Larsson excavate the fossil skull of a 100-million-year-old croc in Niger

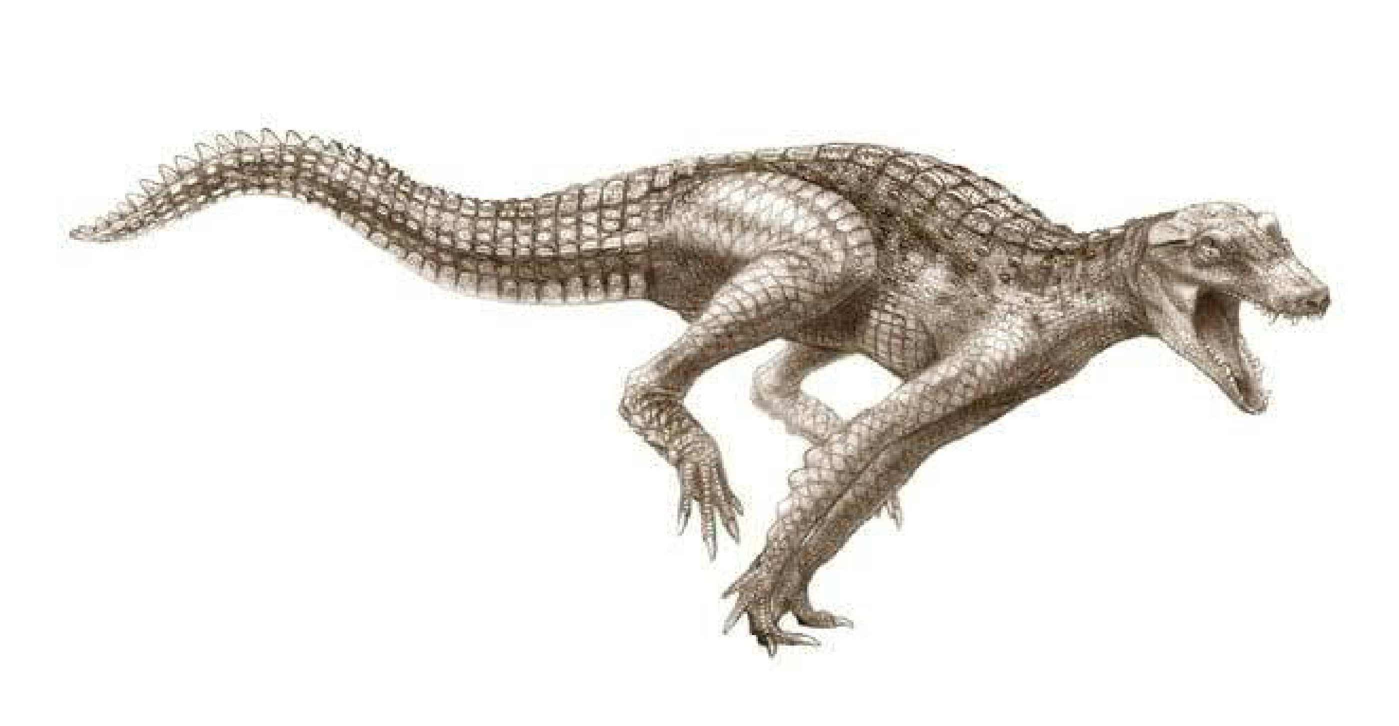


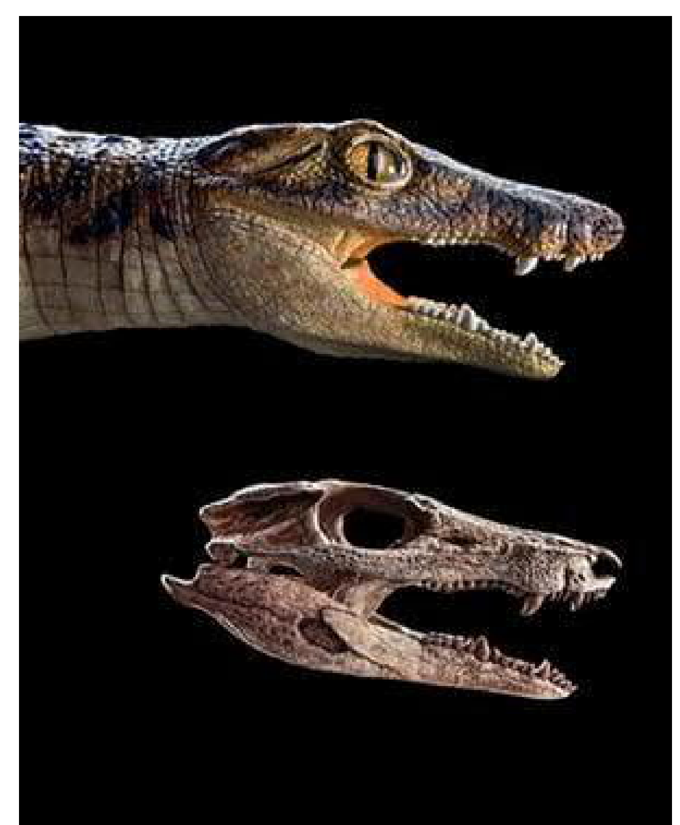


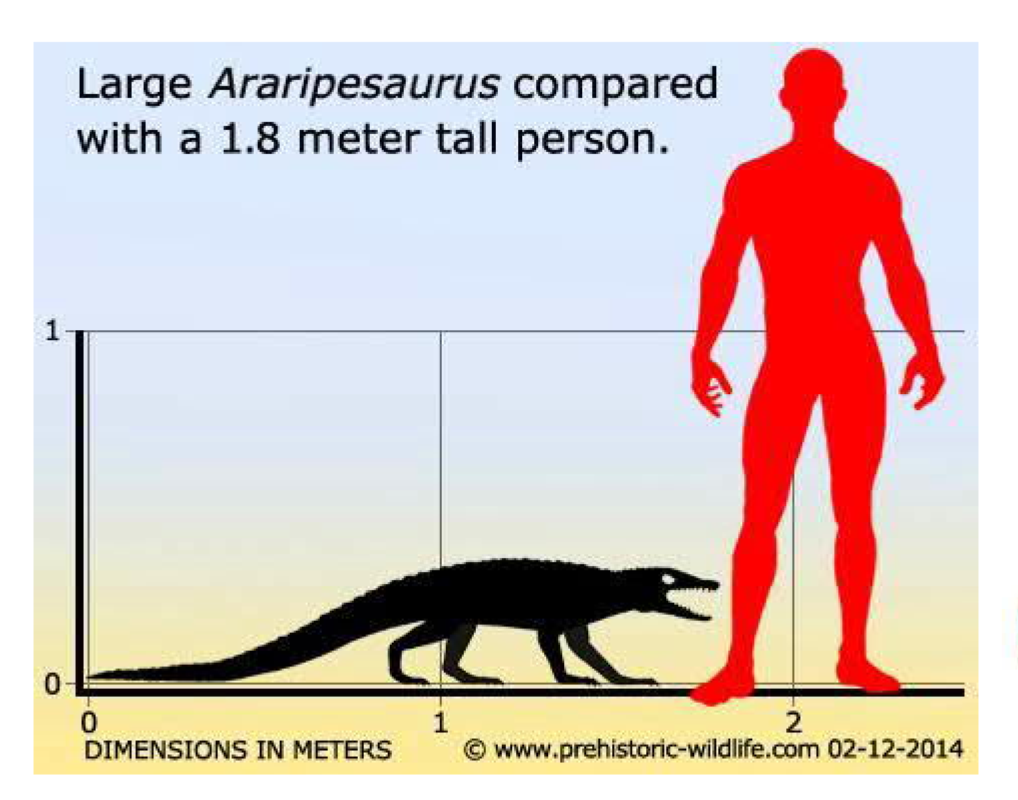


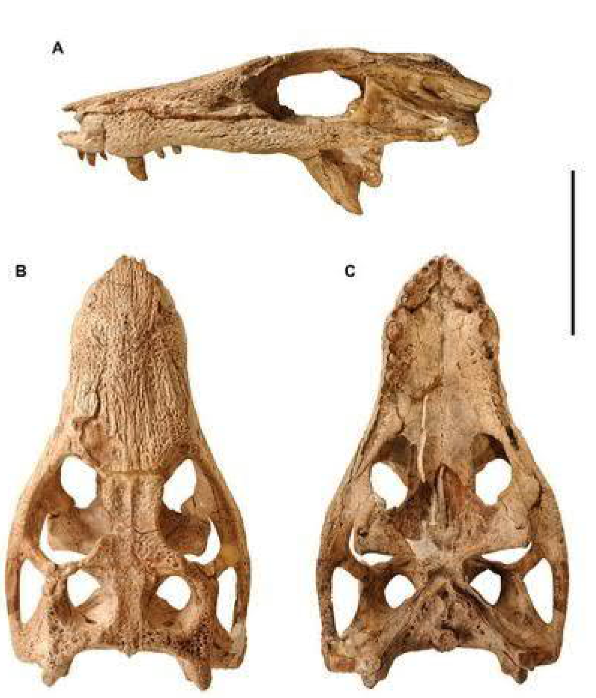


Kaprosuchus التمساح ذو الأسنان الشبيهة بأسنان الخنزير

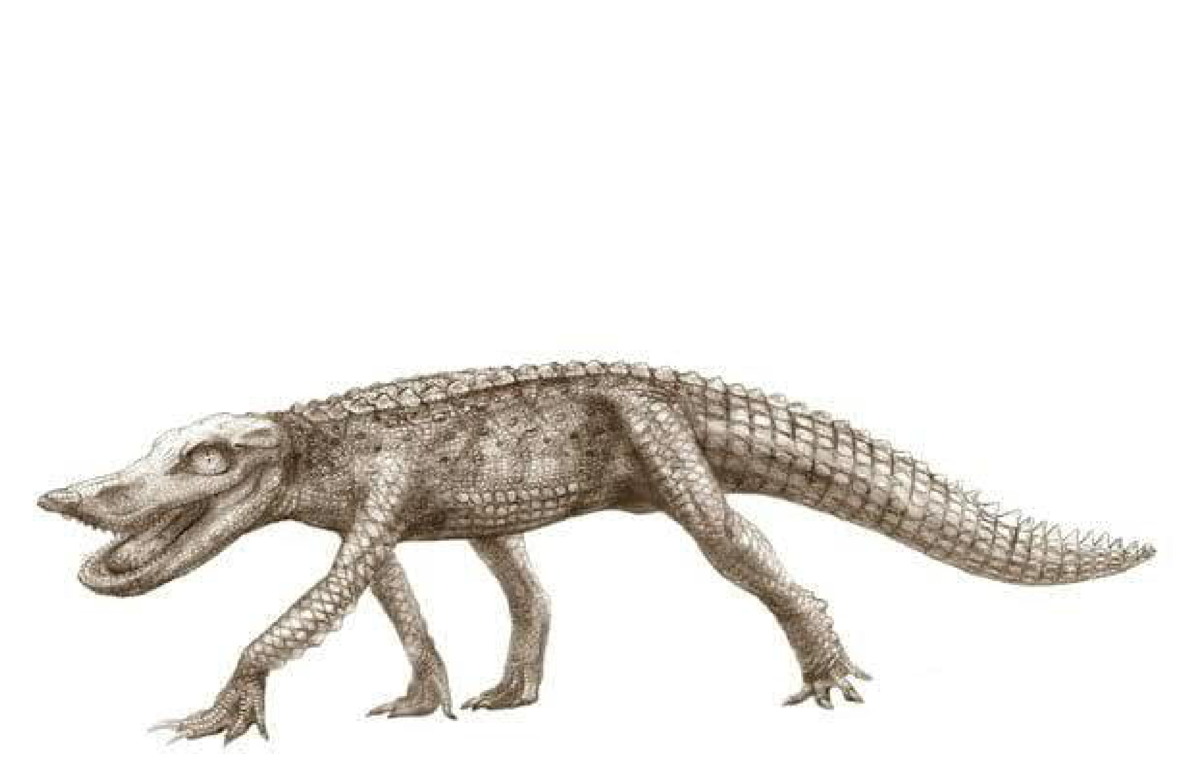




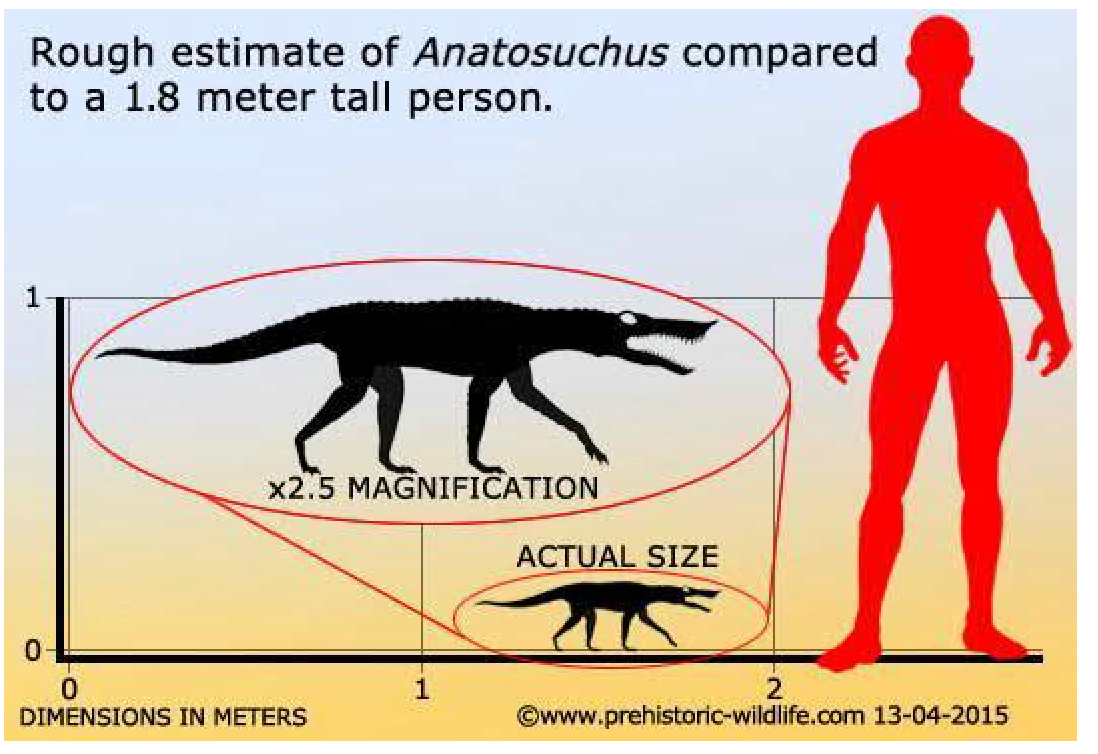




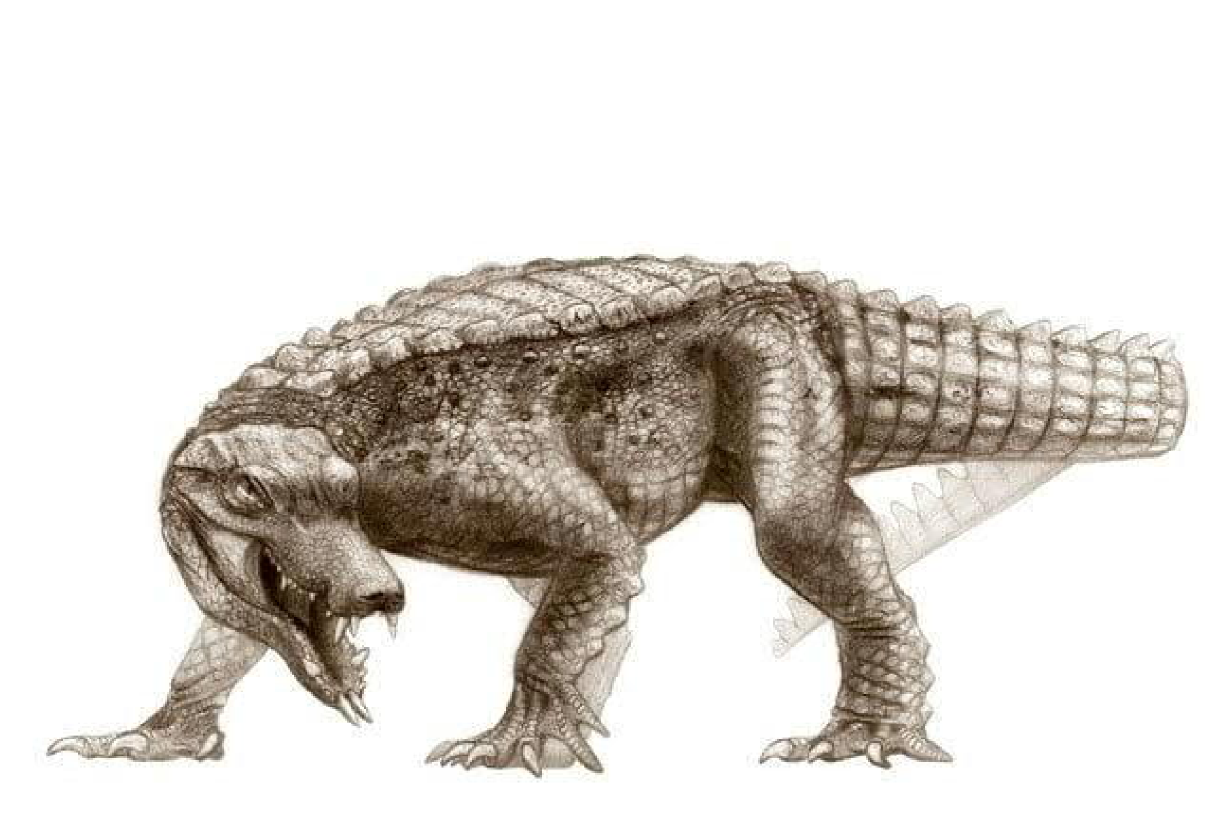
Araripesuchus wegeneri ويعني اسمه التمساح الشبيه بالكلب

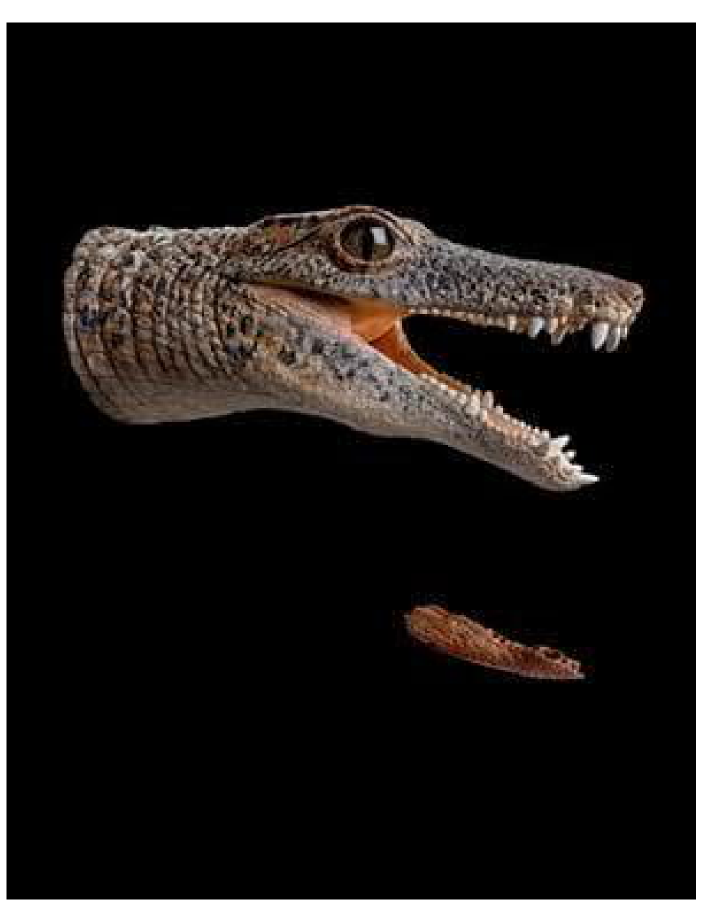


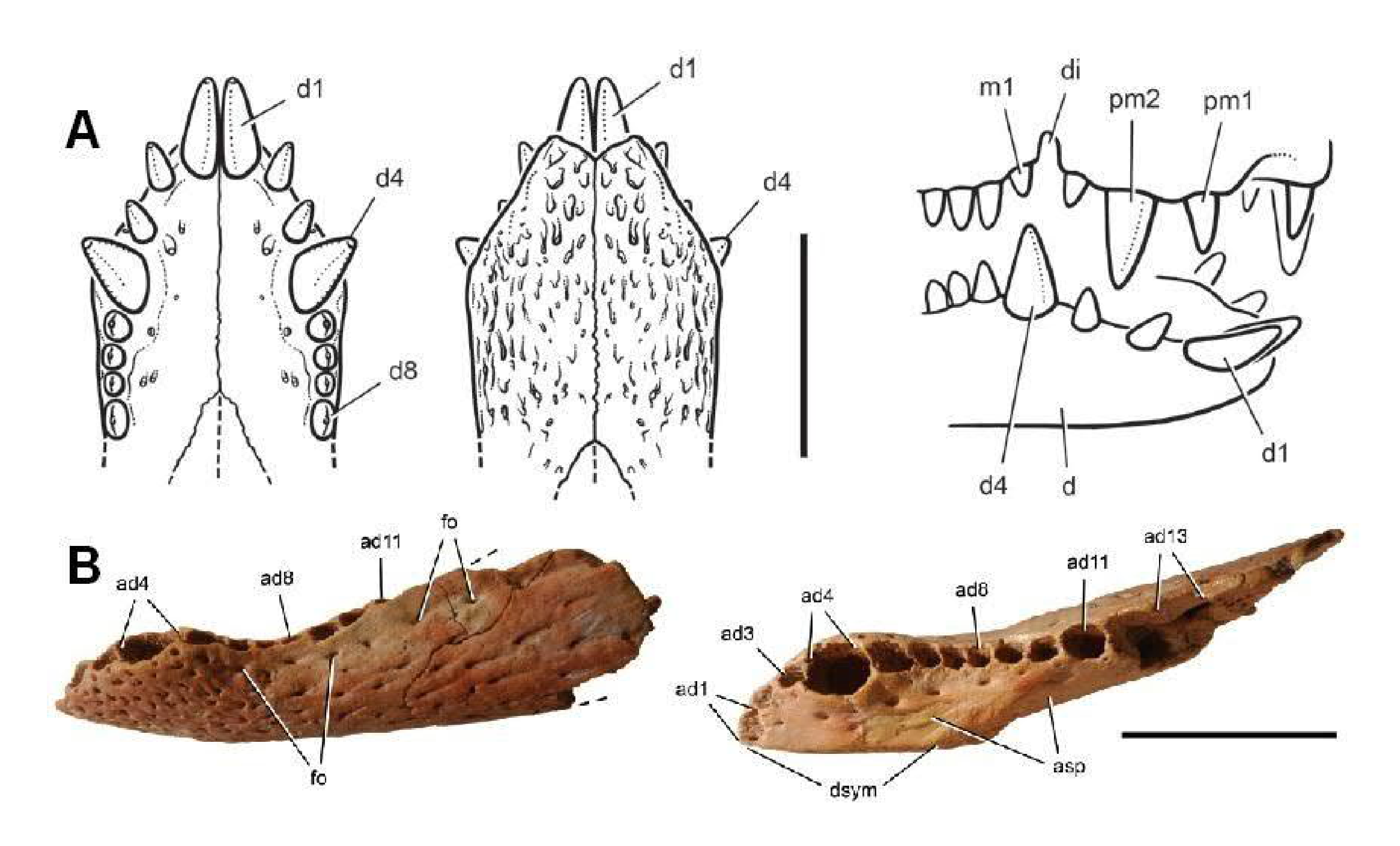


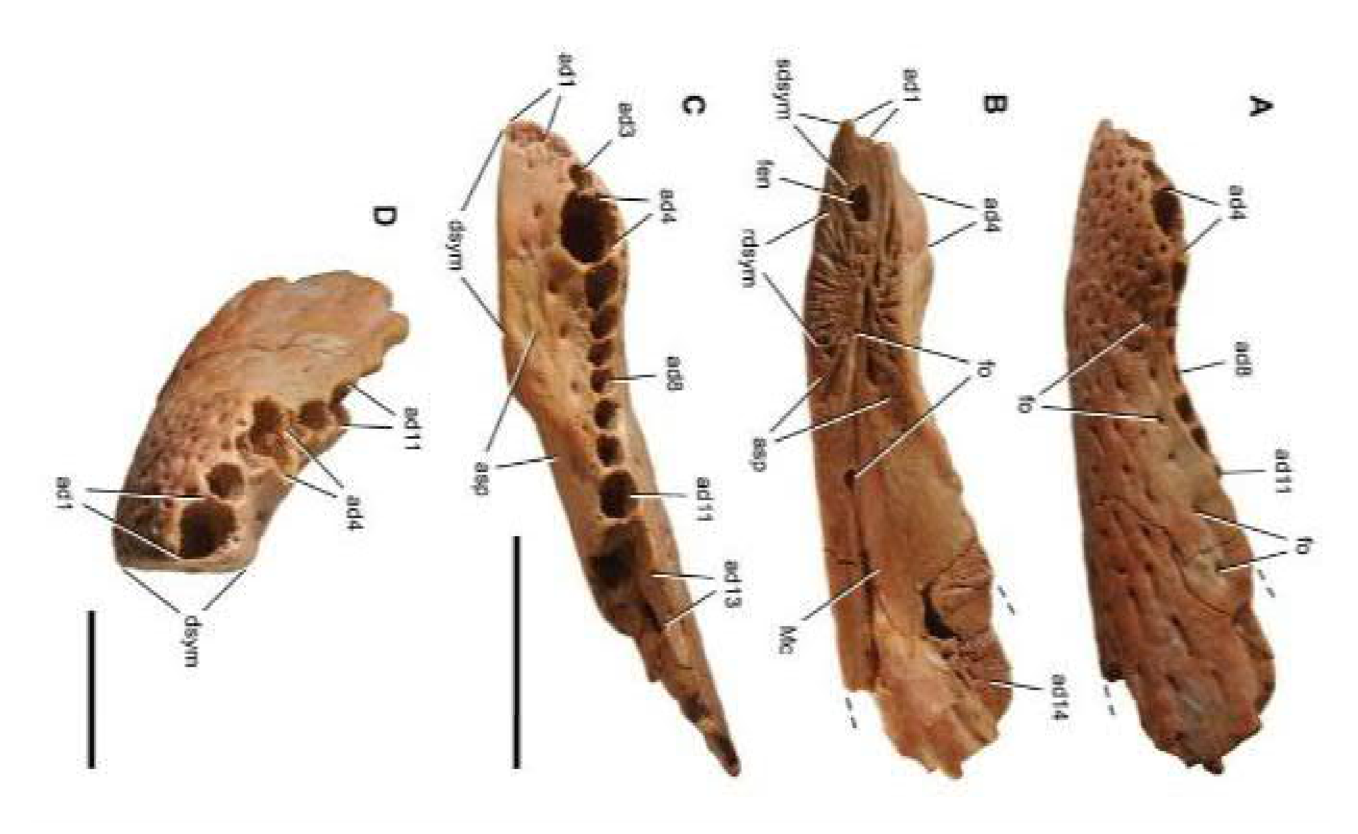


Anatosuchus التمساح ذو الفم الشبيه بمنقار البطة



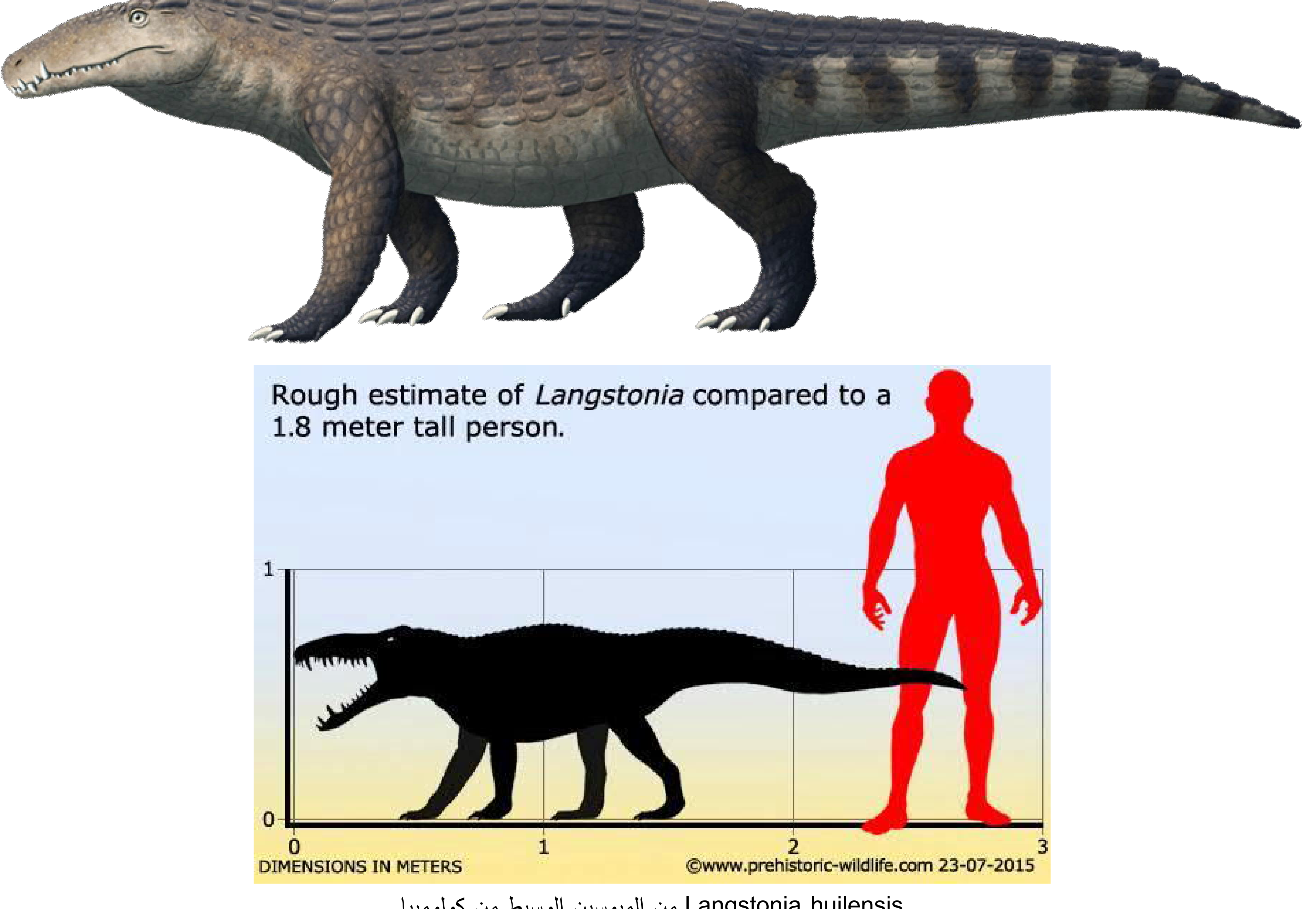




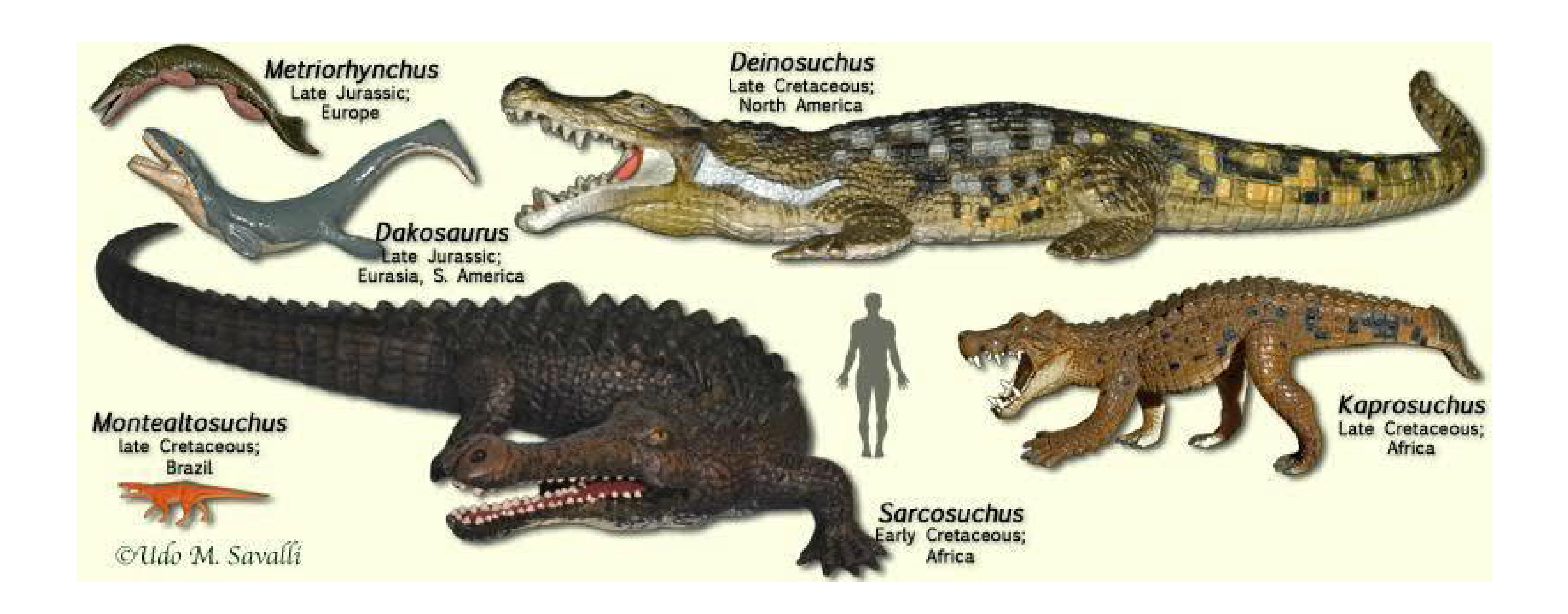


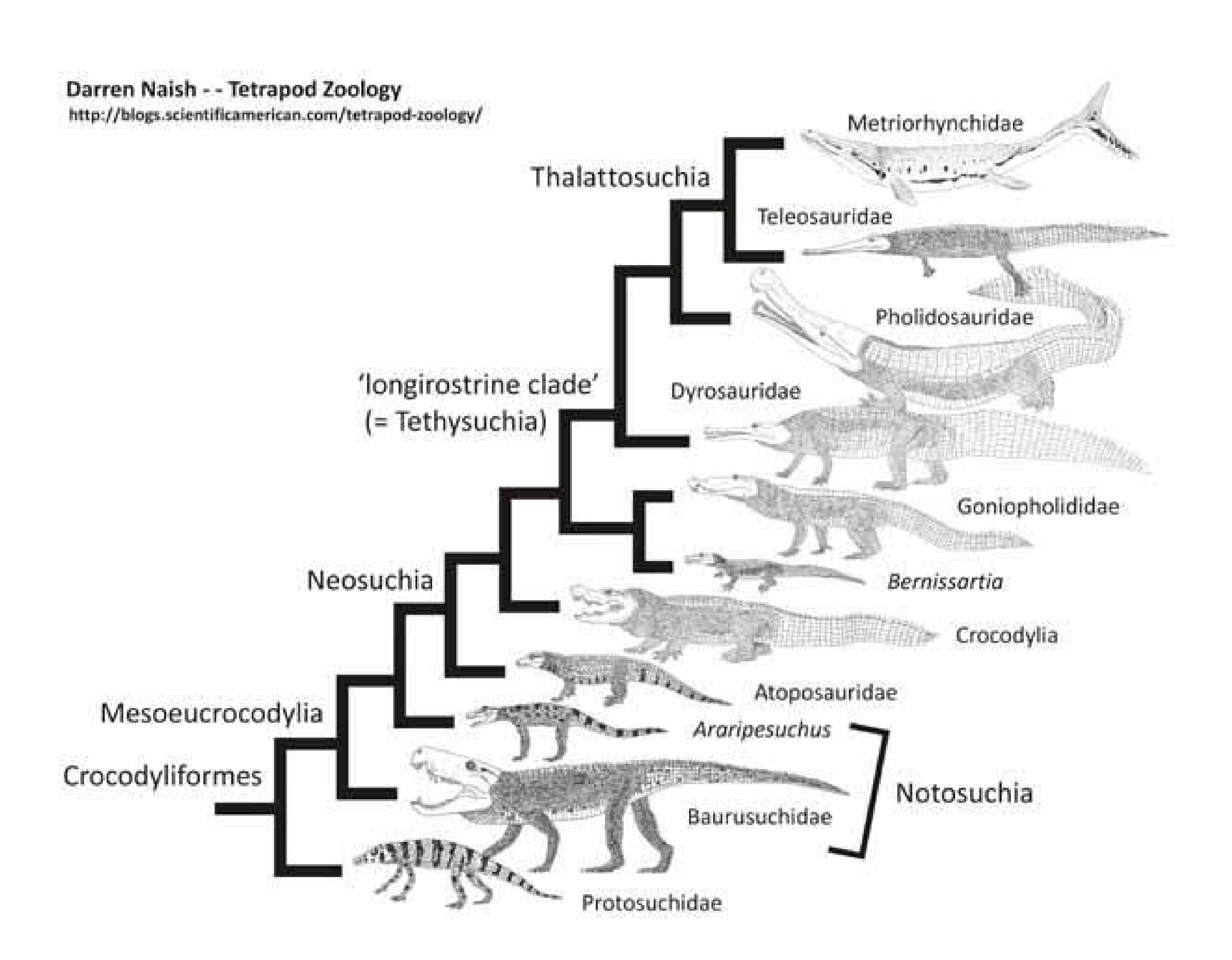
Araripesuchus rattoides التمساح ذو الأسنان الشبيهة بأسنان الفأر

متحجرات وإعادة بناء وتصور للأنواع: Kaprosuchus saharicus المكتشف في النيجر [من فصيلة Mahajangasuchidae أو تماسيح Mahajanga نسبة إلى منطقة في مدغشقر] و Araripesuchus rattoides [من فصيلة ذوات الصفات الشبيهة بالتمساحية] و Anatosuchus ونوعين آخرين، وهي أنواع تمساحيَّات حقيقية برية اكتُشِفت عام ٢٠١٠م في شمال أفريقيا فيما هو الآن الصحراء الكبرى في النيجر والمغرب. وقد اكتشفها البروفيسوران المذكوران أعلاه.

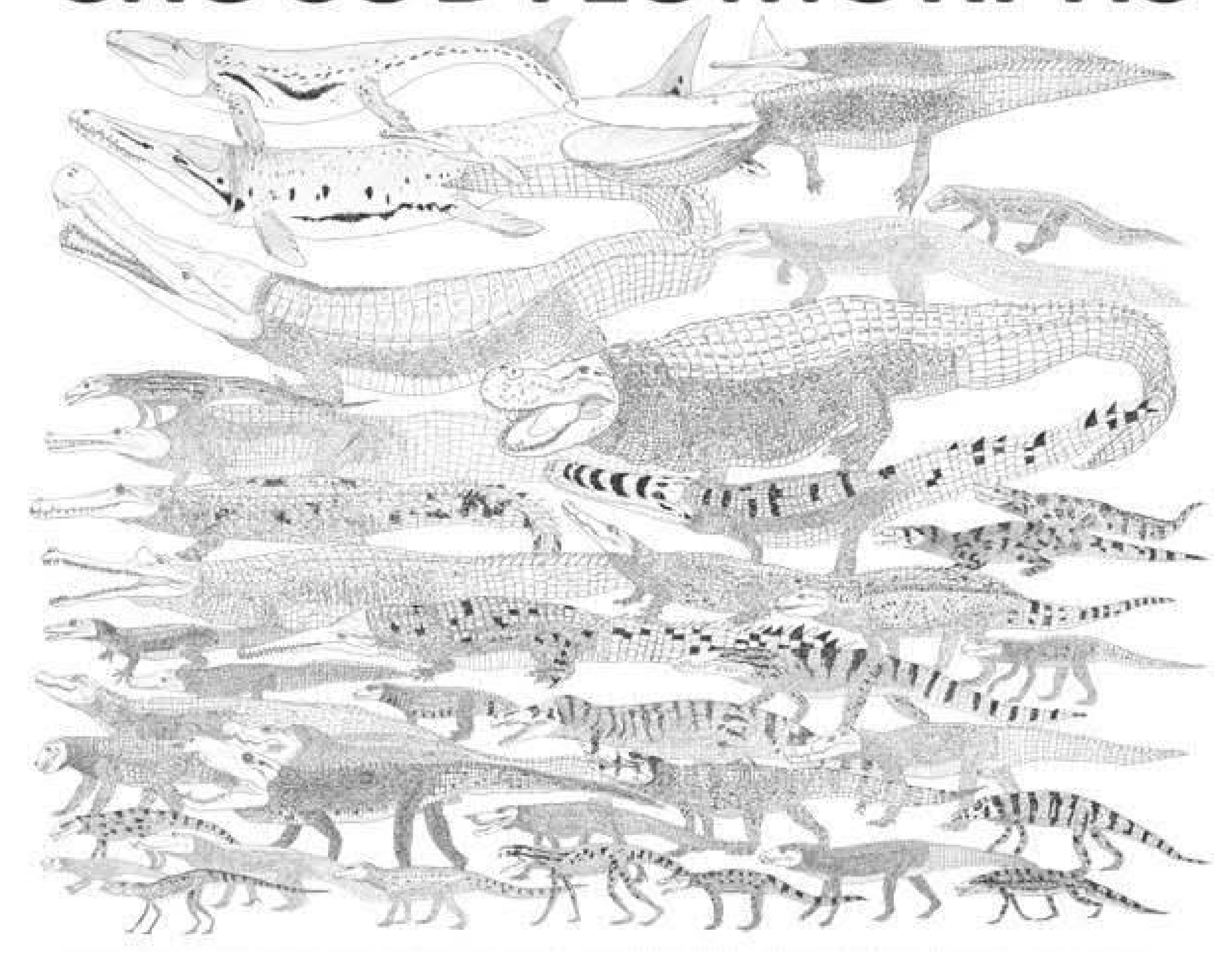


Langstonia huilensis من الميوسين الوسيط من كولومبيا

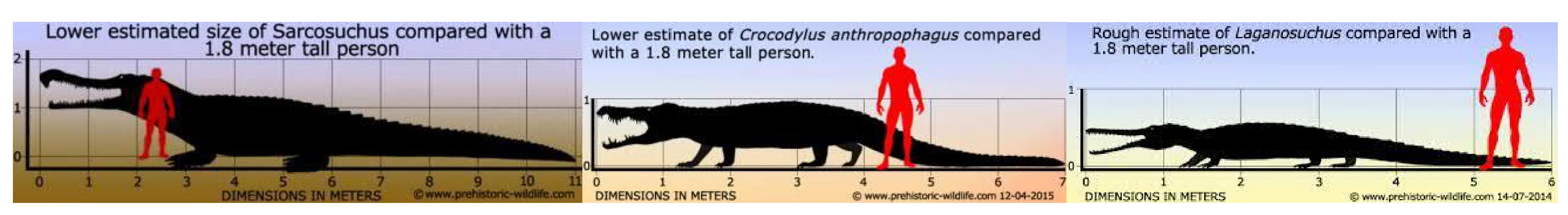

Metriorhynchus
Late Jurassic;
Europe
Deinosuchus
Late Cretaceous;
North America
Dakosaurus
Late Jurassic;
Eurasia, S. America
Montealtosuchus
late Cretaceous;
Brazil
Kaprosuchus
Late Cretaceous;
Africa
Sarcosuchus
Early Cretaceous;
Africa
©Udo M. Savalli


Darren Naish - - Tetrapod Zoology
http://blogs.scientificamerican.com/tetrapod-zoology/
Thalattosuchia
Metriorhynchidae
Teleosauridae
Pholidosauridae
'longirostrine clade'
(= Tethysuchia)
Dyrosauridae
Goniopholididae
Bernissartia
Neosuchia
Crocodylia
Atoposauridae
Mesoeucrocodylia
Araripesuchus
Crocodyliformes
Baurusuchidae
Notosuchia
Protosuchidae

CROCODYLOMORPHS



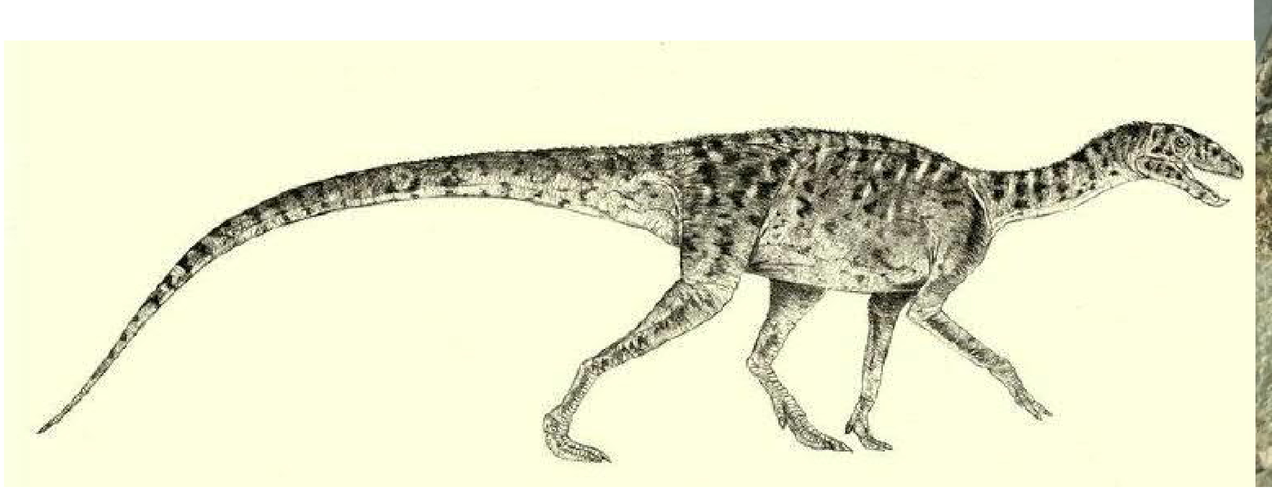
Crocodylomorpha التمساحيات الحقيقية ذوات الصفات الشبيهة بالتماسيح المعاصرة



صور لبعض التماسيح القديمة المنقرضة الضخمة

أسلاف الديناصورات

ظهرت الديناصوراتُ لأول مرة في العصر الترياسي المتأخر، منذ حوالي ٢٢٥ مليون سنة. لقد كانت صغيرة الأحجام ورشيقة وسائرة على قدمين في البداية، وتطورت أحجامهم المتراوحة من الكبيرة إلى الضخمة لاحقًا زمنيًّا. ورغم أن أوائل الديناصورات كانت على وجه اليقين تقريبًا لواحم صغيرة الأحجام راكضة سائرة على قدمين اثنتين، فقد تطورت سريعًا إلى أنماط تغذية مختلفة. لقد كان Silesaurus [زاحف سيلِسيا نسبة إلى مكان اكتشافه في بولندا] _من العصر الترياسي المتأخر في بولندا_ ديناصور *تقريبًا*، يفتقد فقط صفتان من صفات جماجم الديناصورات؛ فقد كان نباتيا صغير الحجم ذا منقار لقص وحصد النباتات، مثل الكثير من الديناصورات اللاحقة.





الصورة ١١– ١٦ Silesaurus زاحف سيلِسيا، نباتي من العصر الترياسي المتأخر في بولندا، وهو قريب وثيق للديناصورات الحقيقية. يصنَّف ضمن رتبة الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالديناصورات Dinosauriformes. مقياس الصورة إلى ٢٥ سم (قريب من حجم القدم).

كان أبكر ديناصورين نعرف عنهما على نحو جيد _وهما _ Herrerasaurus [ومعنى اسمه زاحف هيرًا نسبة إلى راعي ماشية أنديزي يُدعى "فيكتورينو هيرًا" اكتشف أول عينة منه، وهو من أقدم الديناصورات المعروفة ذو جمجمة أقرب إلى التشريخ الخاص بالأركوسورات ومفصل عظم الحوض كذلك لم يكن مفتوحًا إلا على نحو جزئي كالأركوسورات، هو ديناصور من رتبة ذوات الورك الشبيه بالسحلية من رتيبة السائرة على قدمين] وEoraptor [إيورابتور، وتعني مفترِس فجر التاريخ، ديناصور سائر على قدمين أولي، كان له أسنان متباينة الأشكال لذلك يعتقد أن القارتية أي أكل اللحوم والنباتات صفة تطورت مبكرًا ضمن بعض الديناصورات كإستراتيجية تغذية، كان طوله متر ووزنه عشرة كجم، وكان طول طرفيه الأماميين نصف طول الخلفيين، ويعتقد أنه كان عدَّاءً سريعًا]_ لاحمين مفترسين عاشا في الأرجنتين بجوار حياة نباتية تهيمن عليها الزواحف ذوات الخطوم rhynchosaurs، مع وجود زواحف ذوات فتحة صدغية واحدة synapsids أيضًا. يبدو أن هذا المجتمع الحيواني قد ظل مستقرًّا لعشرة ملايين سنة على الأقل أو نحو ذلك، وكانت الديناصورات تمثل فيه ربما ثلث اللواحِم. وبعد ذلك، يبدو أن الإيكولُجيَّة [وظائف وطرق اعتياش الكائنات الحية وعلاقاتها ببعضها وبالبيئة] قد تغيرت سريعًا، وصارت الديناصورات مهيمِنة، كما سنرى في الفصل ١٢.

الفصل الثاني عشر

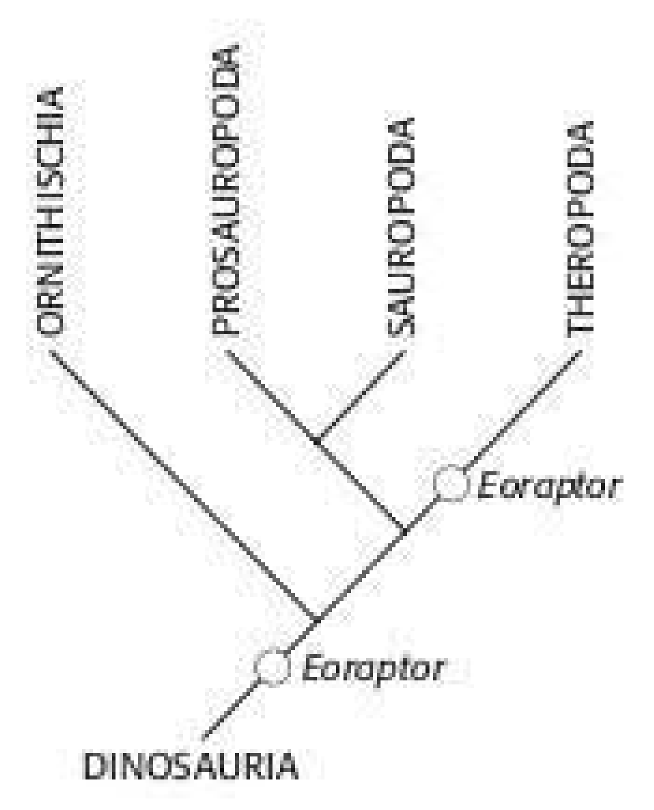
الديناصورات

الدَيْنَسُوْرَات dinosaurs يعني اسمها باللاتينية الزواحف الضخمة أو المُرعِبة، ولو أن أنواعها كانت بمختلف الأحجام والأدوار البيئية فمنها صغار الأحجام

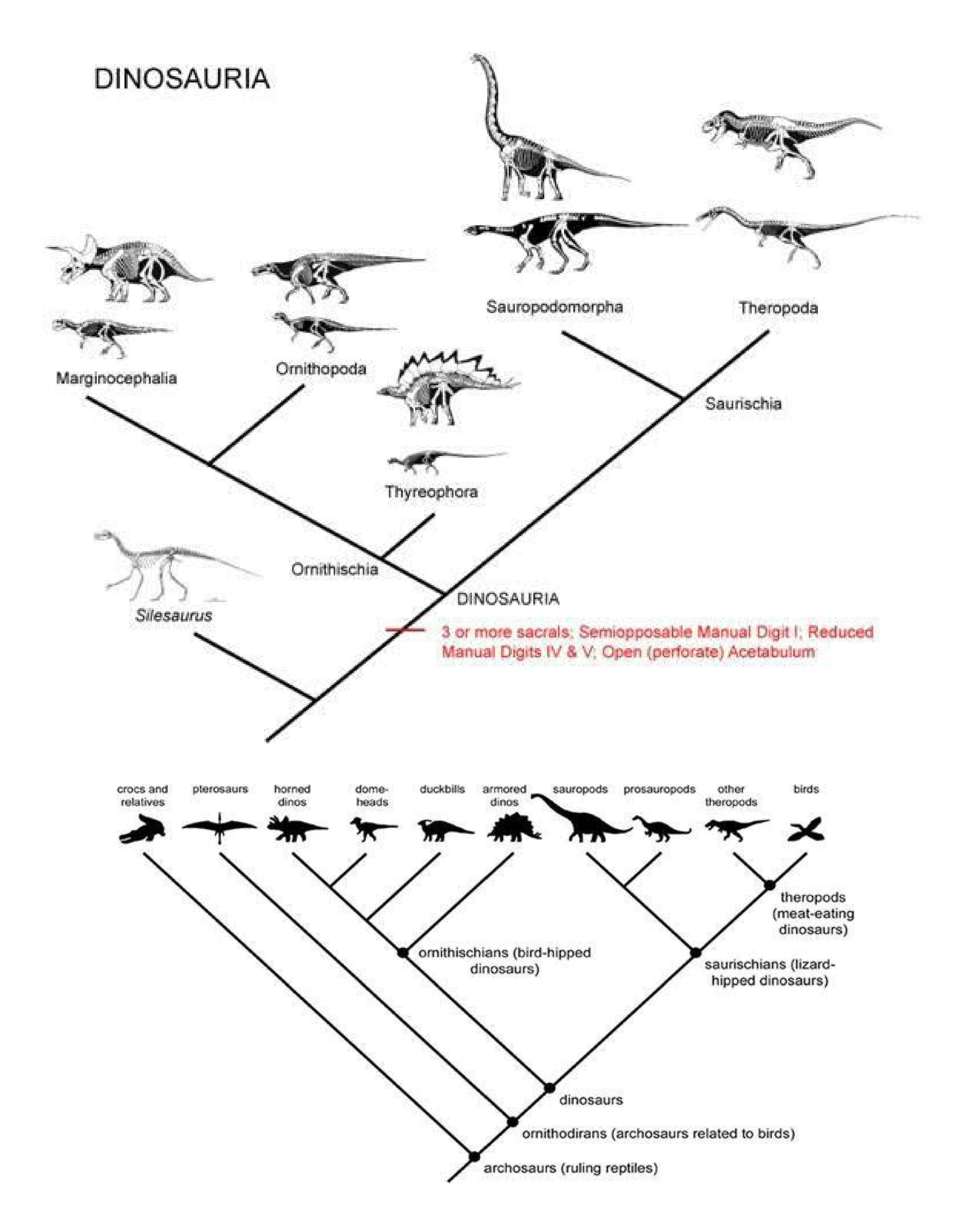
الديناصورات مألوفة لنا من نواحٍ كثيرة؛ فهي حاضرة معنا من فترة روضة الأطفال أو قبل ذلك، في قصص الأطفال المصورة والألعاب والروايات والأفلام وكتب الطبيعة والرسوم المتحركة التلفزيونية والإعلانات. إلا أنها لا تزال يصعُب فهمها كحيوانات. كان أكبر ديناصور ذا وزن أكثر من عشرة أضعاف وزن الفيل، وهو أكبر الحيوانات البرية الحيّة في العصر الحالي. هيمَنَتْ الديناصوراتُ على مستعمَرات الحيوانات البريّة لمئة مليون عام، وبعد اندثارها فقط صارت الثدييات مهيمِنة. إنه يصعُب تجنبُ الشكِّ في أن الديناصورات كانت على نحوٍ ما متفوقة في التنافس على الثدييات وحصرتها وجعلتها تقتصر على أحجام الأجساد الصغيرة والتفاهة الإيكولُجِيَّة. سنودُّ بشِدَّةٍ أن نعرف أساس ذلك التفوق.

كانت أقدم الديناصورات لواحِمَ سائرة على قدمين اثنتين صغيرة الأحجام، وتطورت من زواحف حاكمة archosaurs سائرة على قدمين اثنتين صغيرة الأحجام (راجع الفصل ١١). لقد ظهرت في العصر الترياسي المتأخر في قارة جُنْدُوانا تقريبًا في نفس وقت ظهور أول الثدييات. لقد جاءت كل التباينات البديعة على الديناصورات لاحقًا زمنيًّا، أما مجموعات الديناصورات الأربع الرئيسية كلها فقد ظهرت عند نهاية العصر الترياسي.

يعرف معظم المطَّلِعين الآن أن الطيور هي ديناصورات متطورة بدرجة عالية. هذا يعني أنه وفق نظام التصنيف حسب الفروع التطورية، فإن فرع الديناصورات أو الديناصوريَّات Dinosauria يتضمن الطيورَ وكذلك الديناصورات dinosaurs التي ليست طيورًا ("الديناصورات الغير طيرية"). هذه عباة ثقيلة. لذلك سأستعمل كلمة الديناصورات dinosaurs لتدل على الديناصورات الغير طيرية، وكلمة الديناصوريَّات Dinosauria لتعني الديناصورات والطيور.

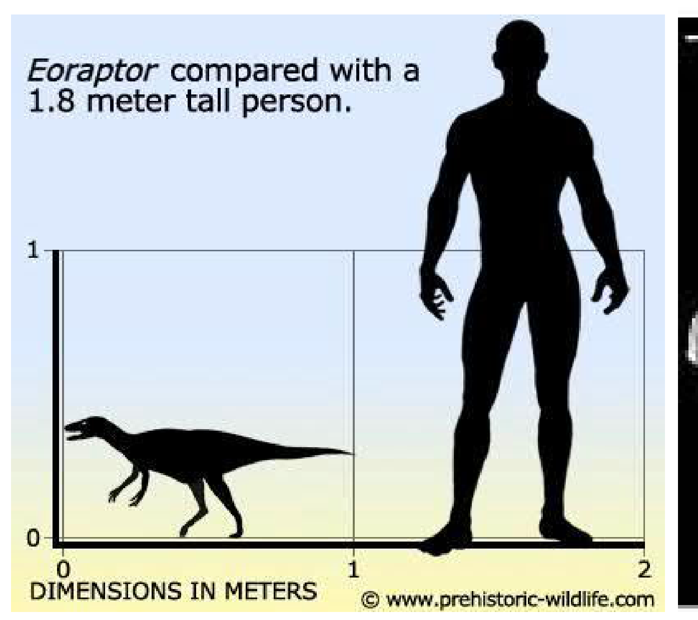


الشكل ١٢– ١ مخطط تطوري يُظهِر المجموعات الرئيسية للديناصورات. إن أقدم ديناصور معروف جيدًا وهو أبكر ديناصور سائر على قدمين كان إيورابتور Eoraptor. لقد كان بسيطًا على نحوٍ كافٍ لكي يكون إما سلفًا لكل الديناصوريات، أو سلفًا لفرع الزواحف السائرة على قدمين فقط theropodia ot theropods، لذلك فقد وضعتُه في كلا المكانين. أما الديناصورات شبيهات ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية Prosauropods فهي معروفة من زمن صخور العصر الترياسي المتأخر، والديناصورات ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية sauropods من صخور التُخْم الترياسي–الجوارسي. لذلك يتنبأ المخطط التطوري بأن كل المجموعات الأربعة للديناصورات كانت قد تباعدت [تشعبت] بحلول ذلك الزمن [الترياسي المتأخر]، وأن هناك متحجرات ديناصورات ذوات ورك شبيه بالخاص بالطيور ornithischians ومتحجرات ذوات ورك شبيه بالخاص بالسحلية sauropods لم تُكتَشَفْ بعدُ في مكان ما في صخور العصر الترياسي المتأخر. سوف تزيل متحجرات جديدة مكتشَفة هذه الشكوكَ (أو تجعلها أسوأ!).



الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين Theropods

كانت كل الديناصورات السائرة على قدمين Theropods لواحِم [مفترِسات، آكلات لحوم]، احتفظت بالتخطيط الجسدي والسمة الاعتياشية [الإيكولُجيَّة] الخاصة بأسلاف الديناصورات. لقد كان أقدم ديناصورين معروفين سائرين على قدمين، وهما Eoraptor [إيورابتور، مفترس فجر التاريخ] و Herrerasaurus [زاحف هيرًا]، كلاهما من العصر الترياسي المتأخر في الأرجنتين. كان إيورابتور Eoraptor حيوانًا صغير الحجم جدًّا، ذا جمجمة طولها حوالي ٨ سم فقط (٣ بوصات) (الصورة ١٢ –٢). ورغم ذلك، فقد كان متكيفًا جيدًا كلاحم سريع الجري، ذي أسنان حادة ومخالب مُمْسِكة في طرفيه الأماميين. أما Herrerasaurus هيراراسور [زاحف هيرًا] فكان مشابهًا جدًّا لإيورابتور لكن كان أكبر بكثير، فكان طوله ما بين ٣ إلى ٦ أمتار.





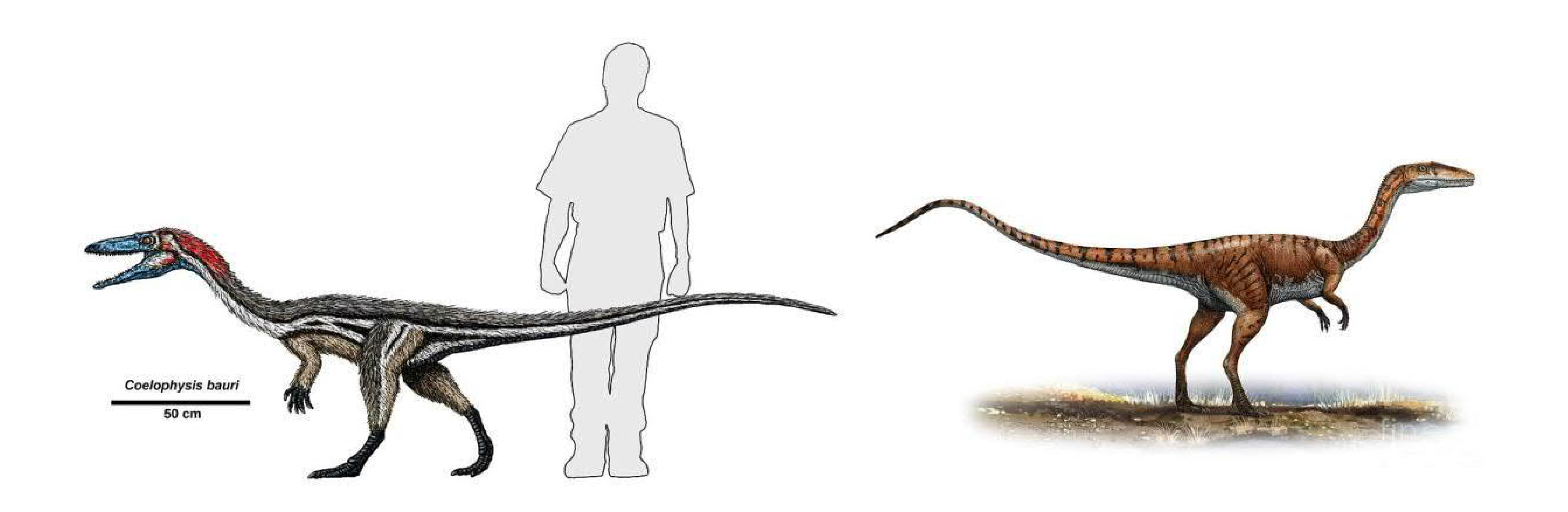
الصورة ١٢- ٢ تصوير بالأشعة المقطعية الكمبيوترية لمتحجرة جمجمة إيورابتور Eoraptor. وصورة توضح حجم الإيورابتور.



Eoraptor

لقد كان شكل الجسد الصغير الرشيق السائر على قدمين ناجحًا طوال تاريخ الديناصورات السائرة على قدمين theropods، وقد مثَّلَتْ الديناصورات السائرة على قدمين الصغيرة الأحجام الفرع التطوري الوحيد الذي لا يزال ناجيًا باقيًا حيًّا (كطيورٍ). رغم ذلك، ففي الواقع لقد تطورت أربع خطوط نَسَبٍ تطوري خاصة بالديناصورات السائرة على قدمين إلى الأحجام العملاقة؛ في الألوسورات allosaurs التي عاشت في العصر الجوارسي وفي ثلاثة مجموعات من العصر الطباشيري، وهي التيرانوسورات tyrannosaurs [أو الديناصورات الجبّارة] الشمالي أمِرِكيَّة، وفي الجيجانوتوسورات Giganotosaurus [الزواحف الجنوبية الضخمة] الأرجنتينية، وفي الكارشارودونتوسورات Carcharodontosaurus [الزواحف ذات الأسنان الشبيهة بأسنان أسماك القرش] الشمالي أفريقية. كانت تلك الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods أكبر اللواحم حجمًا في كل الزمن، كل منها يزن حوالي ٦ أو ٧ أطنان (أضخم من حجمِ فيلٍ بكثير)، وطولها واقفةً حوالي ٦ أمتار، مع طول كليٍّ حوالي ١٢ مترًا. في الوقت الحاليّ حسب آخر الاكتشافات، يبدو أن Giganotosaurus الزواحف الضخمة الجنوبي أمِرِكية كانت الأكبر حجمًا، ذا طول يقدَّر بما يقارب ١٤ مترًا، ووزن ٦ إلى ٨ أطنان. لا بد أن كل تلك الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين العملاقة اعتمدت على صدمات هائلة برؤسها للقتل، مدعومةً بأسنان حادة طاعنة ضخمة كان من شأنها أن تسبِّب نزيفًا شديدًا خطيرًا، مُمِيتًا عادةً، للحيوان الفريسة.

تتضمن theropods الديناصوراتُ اللاحمة السائرة على قدمين المبكرة النوعَ Coelophysis [الديناصور ذا العظام المجوفة]، من العصر الترياسي المتأخر في أمِرِكا الشمالية (الصورة ١٢- ٣). وكان بطول مترين ونصف، ذا بُنية خفيفة (حوالي ٢٠ كجم)، وكان متكيفًا على نحو واضح للجري السريع. كانت عظام هيكله العظمي مدموجة على نحو واسع في وحدات أقوى مما كان في اللواحم السائرة على قدمين الأبكر الأكثر قدمًا، لذلك يوضَع Coelophysis [الديناصور ذا العظام المجوفة] ضمن أول مجموعة متطورة مشتقة الصفات من اللواحم السائرة على قدمين، وهي فصيلة coelophysoids [ذوات العظام المجوفة] (الصورة ١٢- ٤). وتضمنت ceratosaurs الديناصوراتُ اللاحمة السائرة على قدمين القرناء (الصورة ١٢- ٥) والألوسوريَّاتُ من العصر الجوارسي مفترِساتٍ ضخمة قوية كانت تصل إلى طول ٦ أمتار.



Coelophysis bauri
50 cm

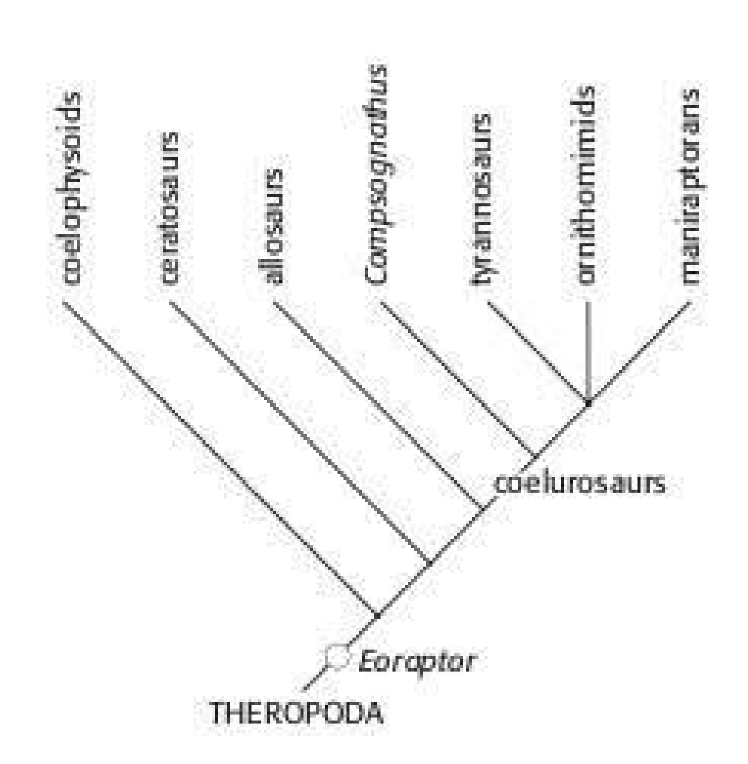


Scavenger Hunt





الصور ١٢– ٣ Coelophysis ذو العظام الجوفاء، لاحم سائر على قدمين مبكر من العصر الترياسي المبكر في نيو مكسيكو. ديناصور صغير نحيل البنية سريع الجري من أكلة اللحوم السائرة على قدمين عاش منذ حوالي ما يتراوح بين ٢٠٣ إلى ١٩٦ مليون سنة في منتصف العصر الترياسي المتأخر فيما هو الآن شمالي الولايات المتحدة الأمركية. ربما نما حتى طول ٣ أمتار، وقُدِّر وزن النوع الرشيق منه بـ ١٥ كجم والقويّ الغليظ بـ ٢٠ كجم، وكان طول رأسه الضيقة حالي ٢٧٠ مليمترًا (9 ,0 بوصة)، وذا عينين في مقدمة رأسه أتاحا له رؤية ثلاثية الأبعاد. يُعرَف كذلك باسمي Longosaurus and Rioarribasaurus. كان يحتفظ كأسلافه البليكوسورية بأربع أصابع في الأيدي ولو أن ثلاثة منها فقط كانت ذوات وظيفة وكان الرابع مطمورًا في لحم اليد. كان طرفاه الأماميان متكيفين للإمساك بالفرائس.



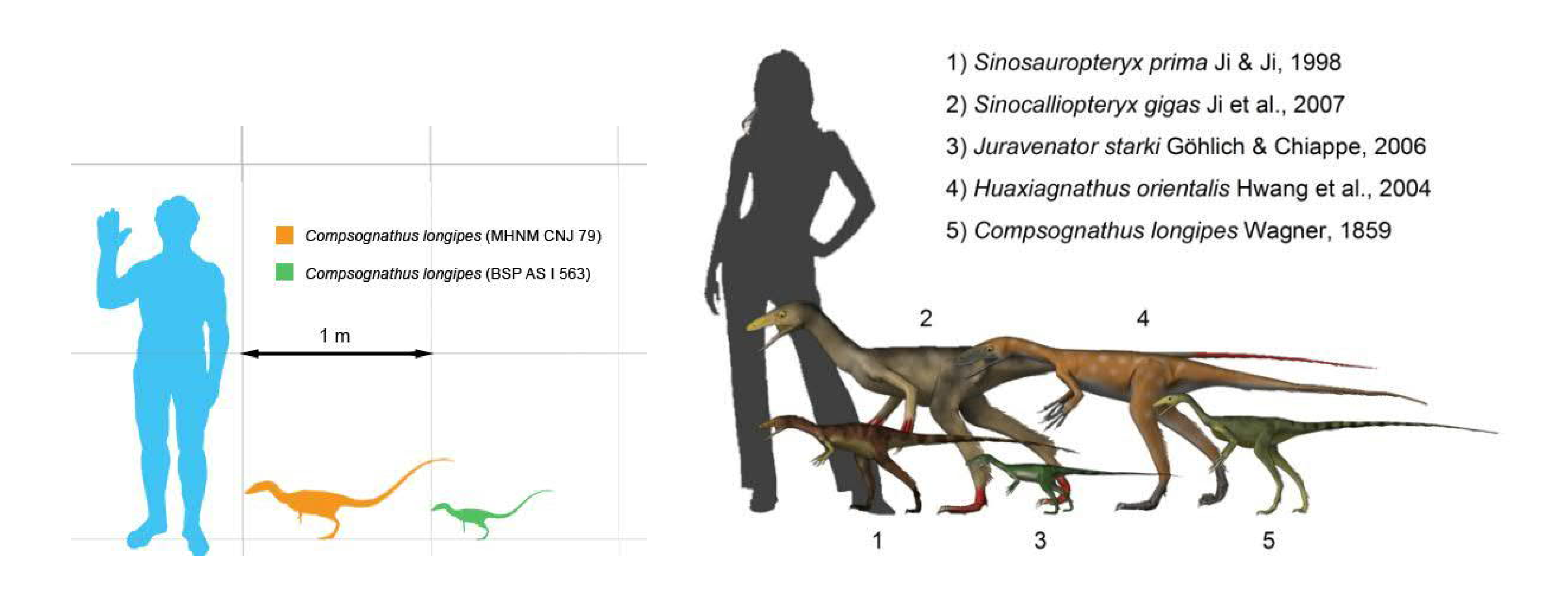
الشكل ١٢– ٤ مخطط تطوري للديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين (مبسَّط من Brochu، 2001)

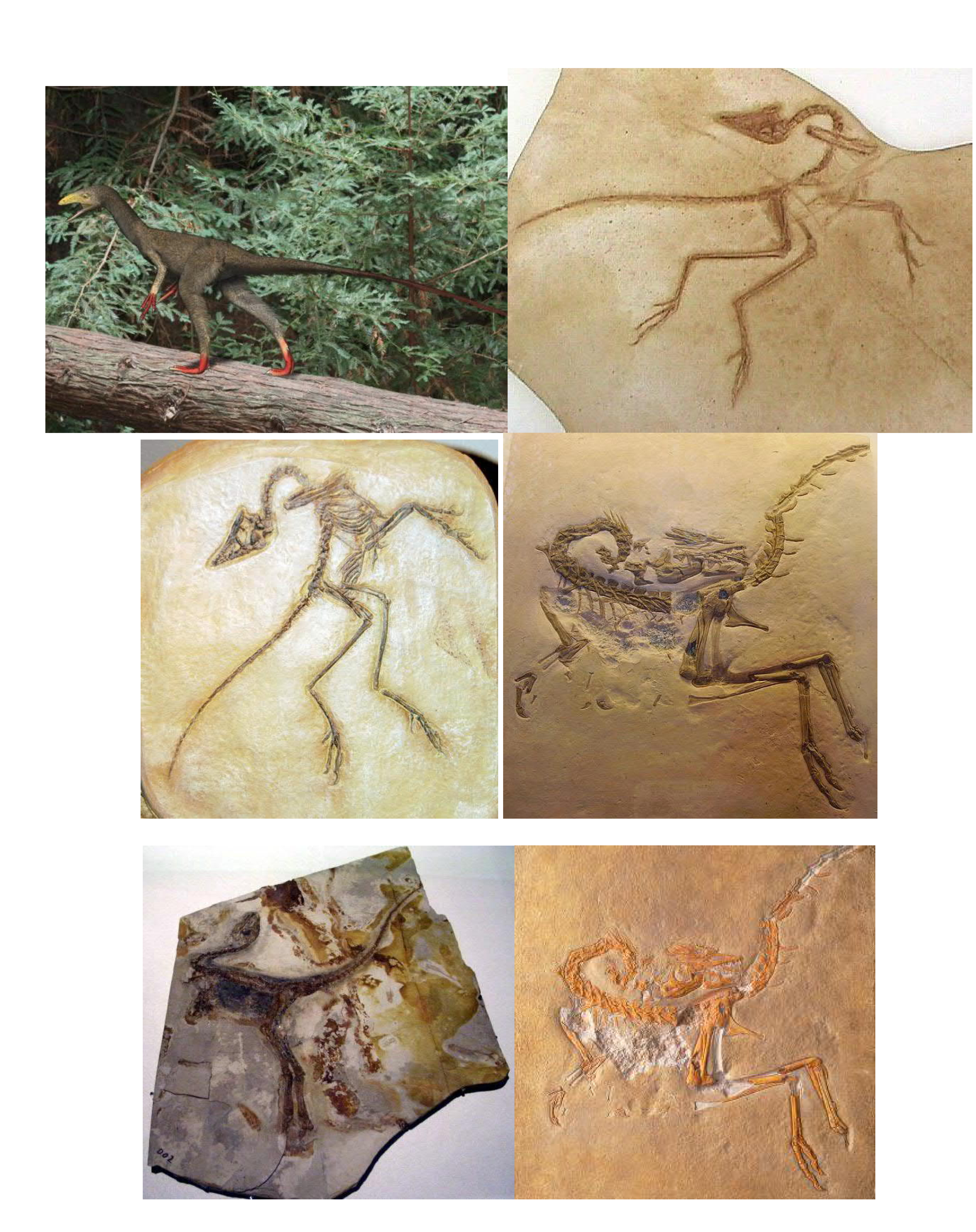
CERATOSAURUS

الصور ١٢– ٥ Ceratosaur الديناصور اللاحم الأقرن. سيراتوصور بالإنجليزية Ceratosaurus : ديناصور يبلغ طوله حوالي ٦ متر ووزنه ٢ طن. له ٣ قرون صغيرة نسبيا؛ قرنَ على أنفه (مثل الخرتيت) وقرنين على عينيه. عاش في أواخر العصر الجوراسي 148 – 153) مليون سنة سابقة) في أمريكا الشمالية وأوروبا. ينتمي السيراتوصور إلى ديناصورات ثيروبودا (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) المفترسة آكلة اللحوم، وكان يجري على رجليه الخلفيتين مثل التيرانوصور .له ثلاثة قرون واحد منها فوق أنفه، وهذا مايميز اسمه إذ أن معناه "سحلية ذات قرن "، وكانت حراشيف تغطي رقبته وظهره وذيله. عثر على خمسة هياكل جزئية للسيراتوصور كما عثر معها على الجماجم في طبقات موريسون في غرب أمريكا الشمالية. وقد أطلق اسمه عائلة كبيرة من الديناصورات المماثلة وسميت سيراتوصوريات وهي مجموعة من الثيروبودات (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) الأولى. النوع المعروف حاليا ومعترف به لدى الأوساط العلمية هو النوع " سيراتوصور ناسيكورنيس"، أي "مقرّن الأنف". كما وصف نوعان آخران: "سيراتوصور دنتيسولكاتوس " و"سيراتوصور ماجنيكورنيس"، ولكن يختلف الإحثائيون على صحة هذا التصنيف. كان

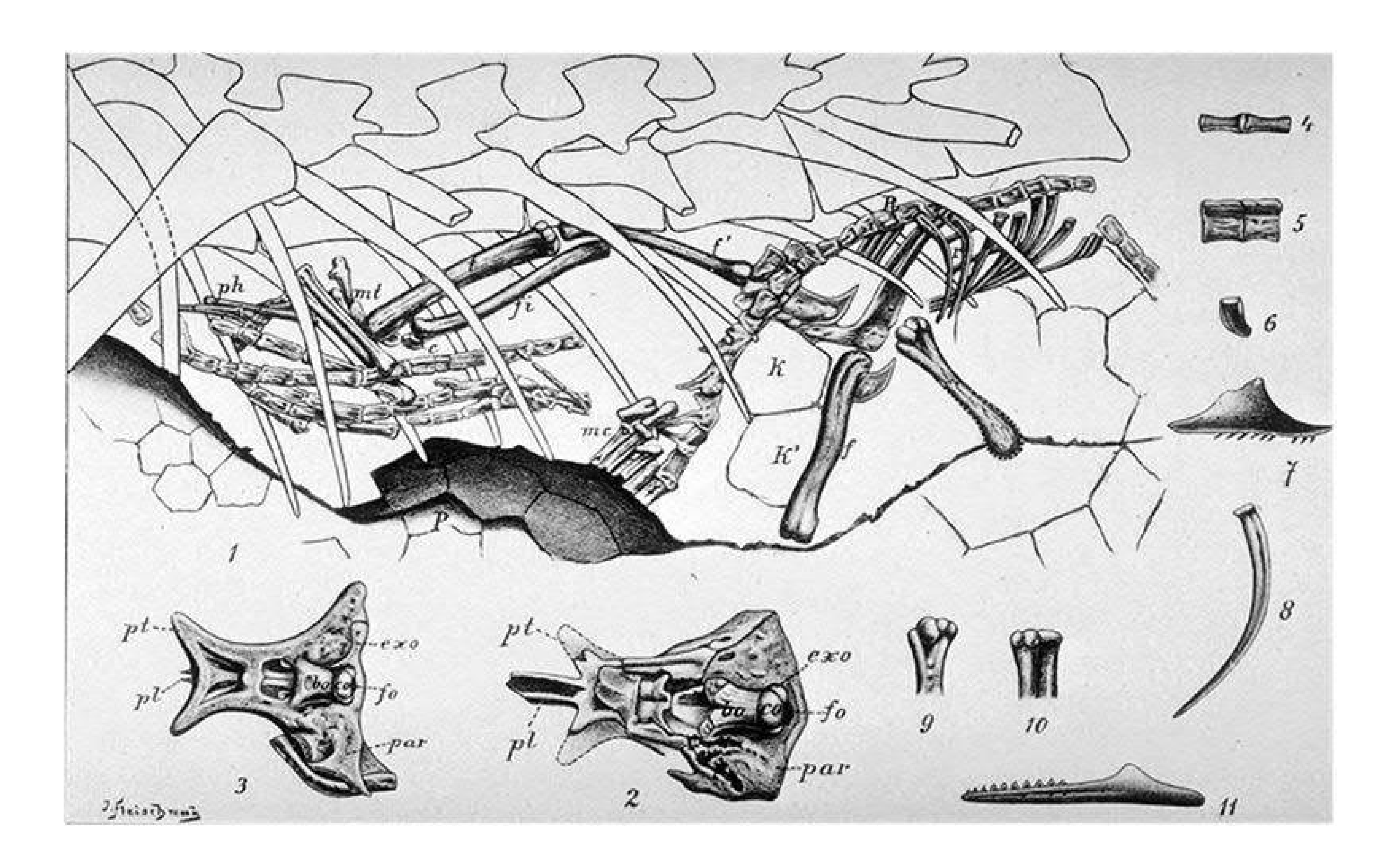
السيراتوصور مفترسا يأكل اللحوم، ويعتقد أنه كان يتغذى أيضا على ستيغوصور. يصل طول هيكل الديناصور "سيراتوصور ناسيكونيس " ٣و٥ متر، مع العلم بأنه لم يعرف عما إذا كان هذا هو طوله النهائي أم أنه كان لا يزال في مرحلة النمو. وقد عثر الإجاثيون على أكبر هيكل منه في منطقة كليفلاند–لويد–كواري ويبلغ طوله ٨و٨ متر. ويعتقد بعض الباحثين أن هذا الأخير ربما يكون نوع مستقل ؛" سيراتوصور دنتيسولكاتوس". ويختلف تقدير وزن الحيوان عند الباحثين المختلفين ويقدر وزن عظام هيكل كامل منه بين ٤١٨ كيلوجرام و ٦٧٠ كيلوجرام. كانت له رأس كبيرة نسبيا كما هو حال كثير من السيراتوصوريات الأخرى. ويميزه قرن في وسط الجمجمة خلف فتحتي الأنف. وبينت الأحفورات وجود قواعد القرن والتي كانت مغطاة أثناء حياة الجيوان بالكيراتين. قاعدة القرن مستديرة وقصيرة العمق، ويبلغ قطرها نحو ١٣ سنتيمتر وعرطها نحو٢ سنتيمتر، وفوق قاعدة القرن مباشرة ينخفض عرض القاعدة إلى نحو ٢و١ سنتيمتر. أما عمقها فيبلغ ٧ سنتيمتر بالنسبة إلى العظمة العليا الأنفية. وبالإضافة إلى قرن الأنف امتلك السيراتوصور زوجا من القرون توجد في أعلى الجمجمة قبل فتحة العينين. وكانت الثلاثة قرون أكبر عند الحيوان المتقدم في العمر عنه في الحيوان الشاب. ويرجح أن الحيوان كان يستخدم قرونه لمجرد التظاهر بين قرنائه. وزعت من ١٢ إلى ١٥ سنة في كل جهة للفك العلوي شكلها خنجري. وفي عظمة الفك الوسطية كان على كل جهة منها ثلاثة أسنان فقط، وهذا اقل من معظم الثيروبودات (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) الأخرى. مأ بالنسبة إلى الفك السفلي فوجد على كل ناحية منه ١١ إلى ١٥ سنة مستقيمة نوعا ما ولكنها اضعف من أسنان الفك العلويalsdie .ويعتبر تاج الأسنان العليا طويلا نسبيا ويصل طوله في الحيوان الكبير إلى ٣و٩ سنتيمتر . وفي هيكل الحيوان الشاب كان طول تاج الأسنان ٧ سنتيمتر. بالمقارنة بذلك فتبدي أقارب السيراتوصور من نوع "أبيليصوريات " تيجان أسنان قصيرة. يختلف الباحثون في تقدير عدد الفقرات حيث يتخلل العمود الفقري للهيكل بعض الفجوات. وتتكون عظمة الحوض من ٦ عظام، وموصول بها ٢٠ فقرة في الظهر والرقبة على الأقل بينما يوجد خلف عظمة الحوض نحو ٥٠ فقرة للذيل، وكانت مدببات فقرات الذيل مستطيلة نوعا ما وكذلك عظمة الشيفرون مما يعطى لشكل الذيل من الجانب سمكا عريضا. . ومن الأشياء الغريبة على ديناصورات الثيروبودا (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) كان للسيراتوصور حراشف لحمية عظمية مستطيلة موزعة طوليا في وسط الجسم على الرقبة والظهر ومعظم الذيل. وعلى كل جهة من الجهتين حول خط الظهر الوسطي تراصت تلك الحراشف العظمية بعرض ٧ سنتيمتر. وقد عثر على تلك الحراشف مع الهياكل، ولكن لم يتبين بالكامل توزيعها على الكائن الحي. كان ذراعي فصيلة السيراتوصوريات قصيرين نسبيا وينتهي كل ذراع بأربعة أصابع. ولم يوجد حتى الآن إلا يد واحدة غير مكتملة للسيراتوصور، لذلك بقي عدد أصابعه ليس معروفا بالتمام. وكانت عظمتي وسط اليد الأولى والرابعة قصيرتين نسبيا ، بينما كانت العظمة الثانية لوسط اليد أطول بعض الشيء عن طول العظمة الثالثة.

تضمن الفرع التطوري الكبير Coelurosaurs [ذوات الفقرات الذيلية الجوفاء] ديناصوراتٍ لاحمةً سائرةً على قدمين أكثر تقدمًا وبكل الأحجام (المخطط التطوري ١٢– ٤). تتضمن الرتبة الفرعية لـ Coelurosaurs أو ذوات الفقرات الذيلية الجوفاء من الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين الفصائل التالية: التيرانوسوريات أو الزواحف الجبارة وذوات الفكوك المتقنة compsognathids والديناصورات المشابهة للنعام ظاهريًا ornithomimosaurs والصائدات ذوت المخالب maniraptorans، وتتضمن الصائدات ذوات المخالب أو المخلبية الطيور. وكان سلفها المشترك كما يتدل عليه طور صفة القارتية [التغذي على كل من النباتات واللحوم] بتطويره القدرة على التغذي على النباتات مما ساهم في نجاح هذه الرتبة التي لا تزال الطيور حية وتمثلها اليم. وتنوعت الأنظمة الغذائية الخاصة بفصائل هذه الرتبة الفرعية ما بين لواحم أو آكلات نباتات أو قارتة أو آكلة للحشرات. كانت جميعها حتى أكثرها بدائية مغطى جسمه بريش، وإن احتفظت بالحراشف والصفائح على بعض أجزاء جسمها. كان Compsognathus [ذو الفكوك المتقنة أو الرائعة] نوعًا بدائيًّا قاعديًّا من فصيلة Coelurosaurs أو ذوات الفقرات الذيلية الجوفاء والذي كان مفترسًا صغير الحجم لكنْ نشيطًا ذا أذرع طويلة وأصابع ذوات مخالب (الصورة ١٢– ٦). أما Ornithomimids [الديناصورات المشابهة ظاهريًّا للطيور أو للنعام] أو ما يُسمَّى بالديناصورات النعامية، فكان تخطيط أجسادها مشابهًا جدًّا للخاص بالنعام الحي المعاصر، ما عدا أنها امتلكت ذراعين طويلين وأصابع نحيلة ماهرة بدلًا من الجناحين. امتلكت Ornithomimids [الديناصورات المشابهة ظاهريًّا للطيور أو للنعام] رجلين ورقبة طوالًا وعينين كبيرتين وأدمغة كبيرة، ولم تمتلك أسنانًا. ربما قد كانت لواحم [مفترِسات] مرعبةً بالتأكيد، لكنْ لعلها تخصصت في افتراس الحيوانات الصغيرة الأحجام. افتقد الكثير منها وجود مخالب كبيرة وكان لها أصابع طويلة يمكن أن تكون قد استعملتها لتناول ومعالجة الأشياء بيدها. أما التيرانوسوريَّات أو الديناصورات الجبارة العملاقة Tyrannosaurs فهي مشهورة بالتأكيد (الصورة ١٢– ٧). لقد امتلكت رؤوسًا ضخمة وذراعين قصيرين، وهي توليفة سمات لا تزال غير مفهومة. لا يزال محلَّ نقاشٍ ما إذا كانت التيرانوسوريّات مفترِساتٍ أم متقمِّماتٍ عملاقة.





الصور ١٢– ٦ Compsognathus ذو الفكوك المتقنة [تثبت المتحجرات أن أنواعه كانت مغطاة بريش]، ديناصورات لواحم سائرة على قدمين من رتبة Coelurosaurs ذوات الفقرات الذيلية الجوفاء. أثبتت المتحجرات أنها كانت مغطاة بريش وفي بعضها ريش بدائي خيطي. تعتبر من ضمن أصغر الديناصورات المكتشَفة حجمًا. كان أصغر أنواعها حجمًا في حجم الدجاجة. وصل أحد أنواعها Compsognathus longpipes إلى طول متر ووزن يقدر بـ5 ,2 كجم، وكانت أنواع أخري يقدر طولها بأقل من متر مثل Caenagnathasia, Microraptor, and Parvicuror، ووصل طول أكبر أنواعها وهو إلى ٥,٩ متر. ووصل طول Sinocalliopteryx المكتشف في الصين إلى طول ٢,٤ متر، ووصل طول النوع Sinosauropteryx [الديناصور الصيني الشبيه بالطيور] إلى ١,٠٧ متر حسب أقصى تقدير



الرسم ١٣– ١٦ رسم توضيحي لإحدى أفضل العينات المحفوظة لـ Compsognathus والتي اتضح أنها تحتوي بداخلها على سحلية مثنية، وهي آخر وجبة له. عظام Compsognathus هي التي في الخارج محيطة بعظام السحلية التي في الداخل والمغمَّقة التظليل لتمييزها. رسم تخطيطي [إكتش] رسمه Nopsca.

ORNITHOMIMOSAURIA

© KANA-HEBI.DEVIANTART.COM

Proceratosauridae

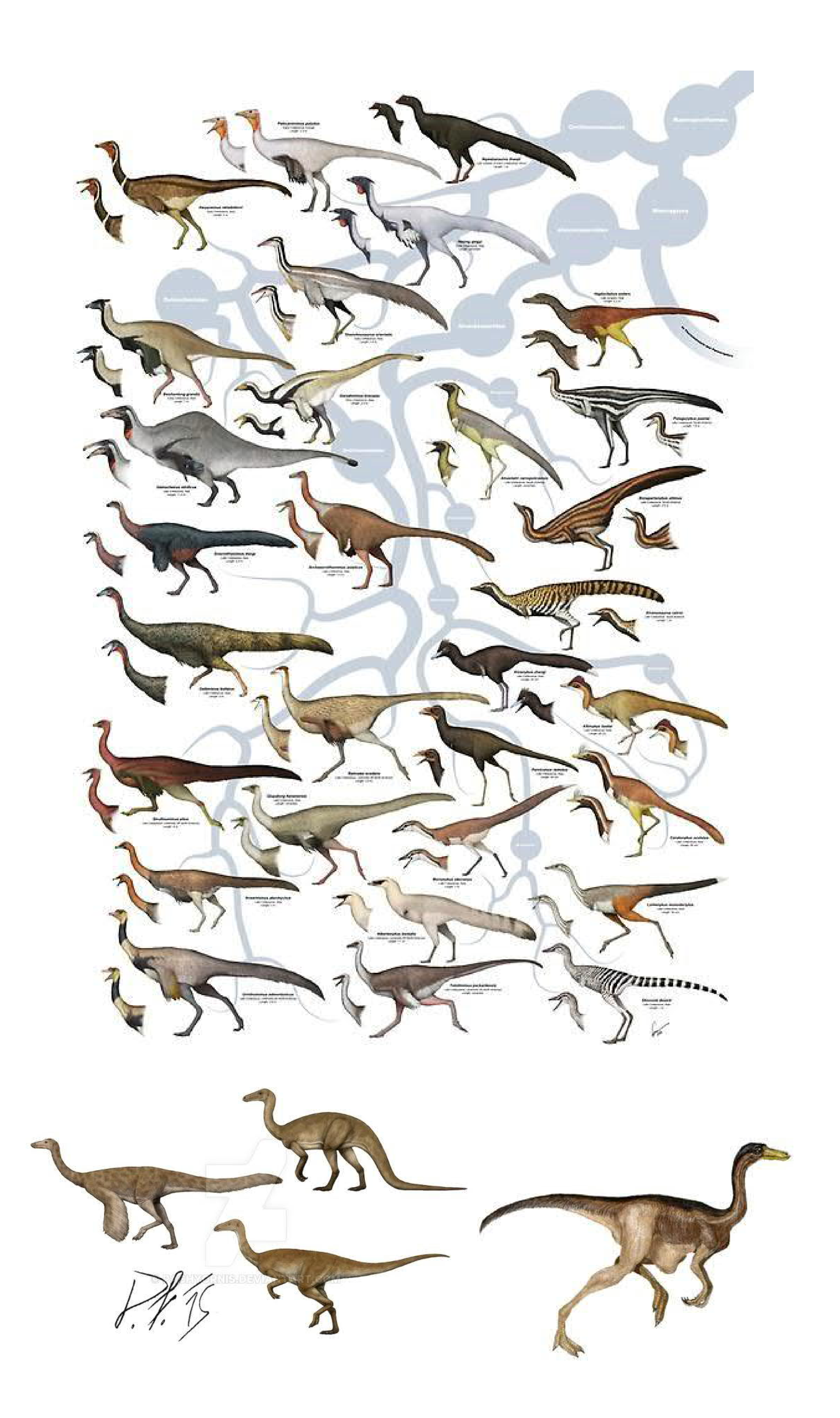
Guanlong wucaii
Late Jurassic, Asia
Length: 3 m.

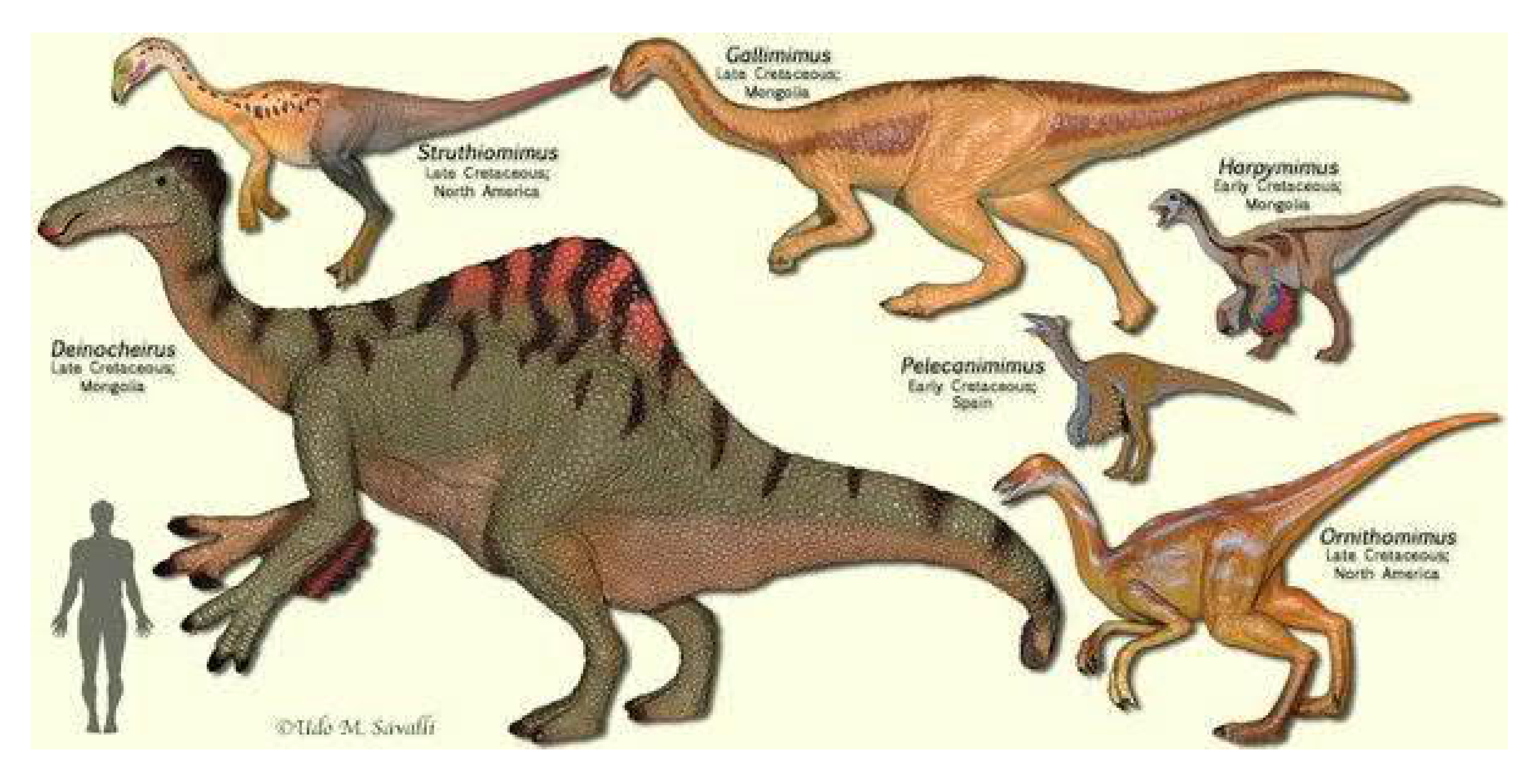
Proceratosaurus bradleyi
Middle Jurassic, Europe
Length: 2.5 m.

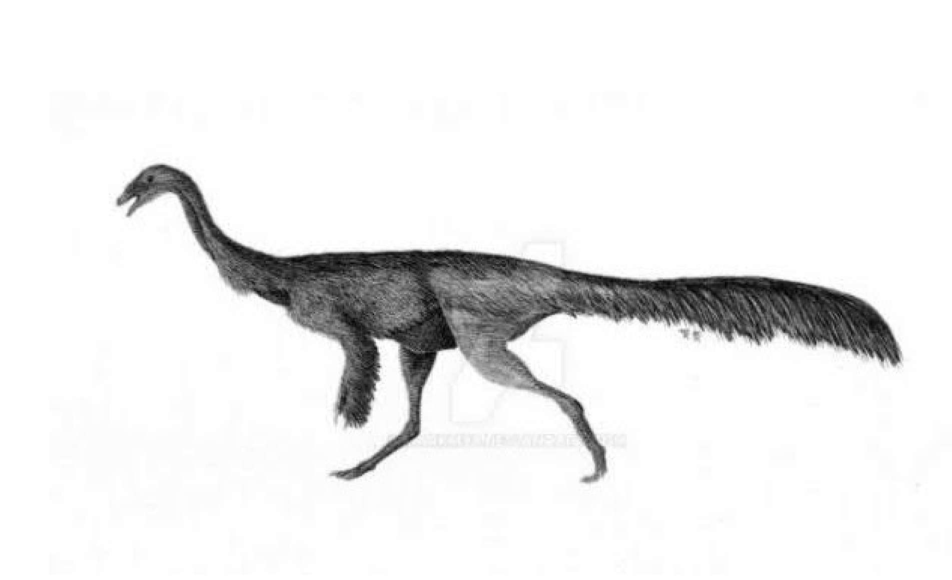
Yutyrannus huali
Early Cretaceous, Asia
Length: 9 m.

Sinotyrannus kazuoensis
Early Cretaceous, Asia
Length: 9 m.

Kileskus aristotocus
Middle Jurassic, Asia
Length: 3 m.




Struthiomimus
Late Cretaceous;
North America
Gallimimus
Late Cretaceous;
Mongolia
Harpymimus
Early Cretaceous;
Mongolia
Deinocheirus
Late Cretaceous;
Mongolia
Pelecanimimus
Early Cretaceous;
Spain
Ornithomimus
Late Cretaceous;
North America
©Udo M. Savalli








Alvarezsaurus calvoi
Late Cretaceous, South America
Size: 1 m.
© KANA-HERI.DEVIANTART.COM







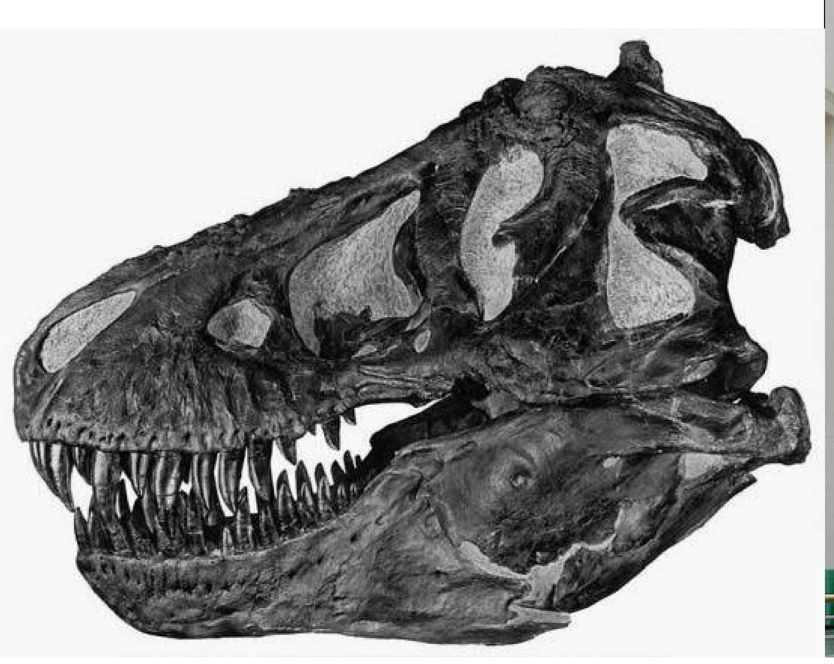
Ornithomimids الديناصورات المشابهة ظاهريًا للنعام [يعتقد البعض أنها كانت مغطاة بريش]، عظائيات محاكية الطيور، بالإنجليزية:Ornithomimosauria تنتمي للديناصورات وحشية الأرجل. ومعنى الاسم هو عظائيات مشابهات للطير. وتسمي أحيانا طيور جارية بحسب تكوين جسمها وطريقة معيشتها المرجحة، أو ديناصورات نعامية. فكانت حيوانات رفيعة البدن وتبلغ أطوالها ٢ – ٥ أمتار مقاربة لوحشيات الأرجل المتوسطة الحجم. وكانت تمشي على رجلين اثنين، أي على الطرفين الخلفيين وربما كانت تستطيع الجري بسرعة كبيرة. يبدو أنها كانت بدون اسنان وطريقتها في الأكل غير معروفة حتى الآن. عاشت خلال العصر الطباشيري منذ ١٣٠ – ٦٥ مليون سنة. وقد عثر على أحفوريات لها في شرق آسيا وفي غرب أمريكا الشمالية. كانت رأس العظائيات المحاكية الطيور صغيرة نسبيا ولها رقبة طويلة. الجمجمة تتميز بالخفة وفم طويل : كما يوجد تجويفان كبيران للعينان. فراغ المخ كان كبيرا وينم عن دماغ متطورة. في بعض الأنواع مثل "جاروديميموس" وجاليميموس كان عظم الفك الأوسطي على شكل حرف U بينما في أنواع أخرى مثل ستروثيوميموس مدبب. وكان الفك السفلي رفيعًا وطويلًا ويدل أحد الأحفوريات بأنه كان منقارًا من الكيراتين وقابلا للقفل بأحكام.كانت للعظائيات محاكية الطيور أسنان : البليكانيميموس كان له نحو ٢٢ سنة صغيرة في الفك العلوي والفك السفلي. وكانت باقي الأحفورات بلا أسنان، ولكن الشينزهوصور و الهاربيميموس كان لها أسنان في الفك السفلي وعددها ٩ – ١١ للفك الواحد. أما جميع الأورنيثوميموصورات الأخرى فكانت بدون أسنان. وكانت أسنان أسلافها بدون بروزات Serration على الأسنان كما هو الحال مع الثيروبودا (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) عموما. وكانت الأسنان أطراف الأسنان قببية ملساء. كان العمود الفقري للعظائيات محاكية الطيور أسنان يتكون من ١٠ فقرات رقبة و ١٣ فقرة صدرية ونحو ٣٥ فقرة في الذيل.وتشير دراسات شكل البدن لها إلى أنها كانت عريضة نسبيا بما يدعو إلى الاعتقاد بأن تلك الحيوانات كانت تبيض عددا صغيرا من البيض الكبير.







النموذج المعروض في متحف سنكينبرج Senckenberg بجرمانيا [ألمانيا] ووضع الجسم كما تحدده الدراسات الحديثة.





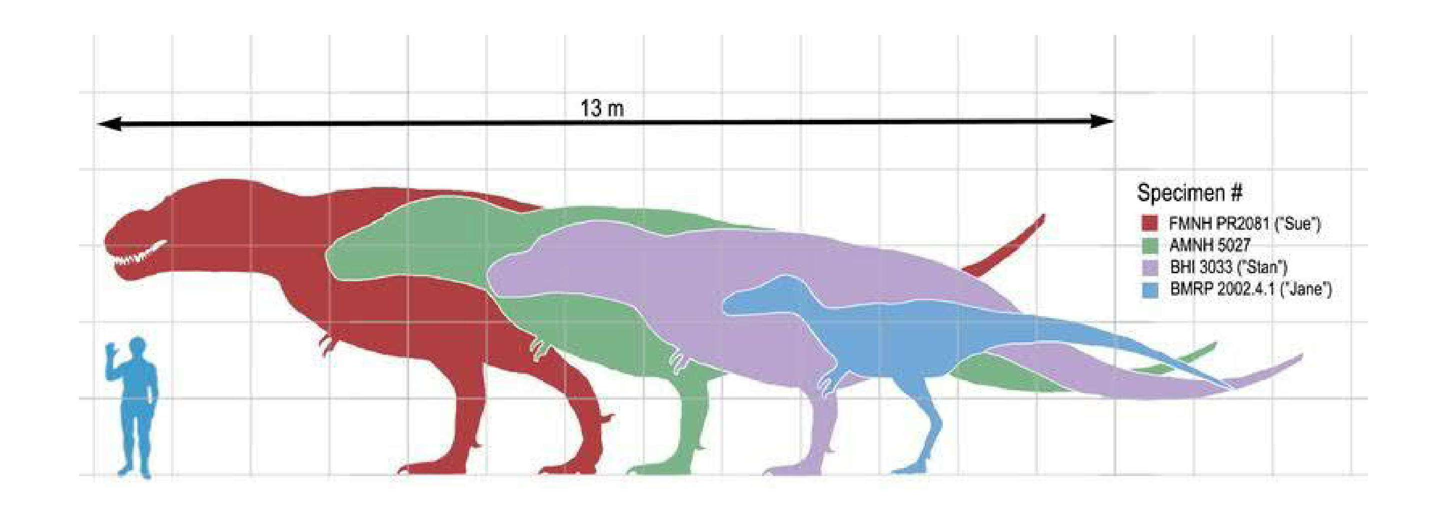
العينة المعروفة بـ Sue specimen لهيكل عظمي لتيرانوسور في متحف فيلد للتاريخ الطبيعي Field Museum of Natural History في شيكاجو، وجمجمة التيرانوسور المعروضة في المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي (AMNH 5027).





قدم تيرانوسور محفوظة في متحف فيلد في شيكاغو

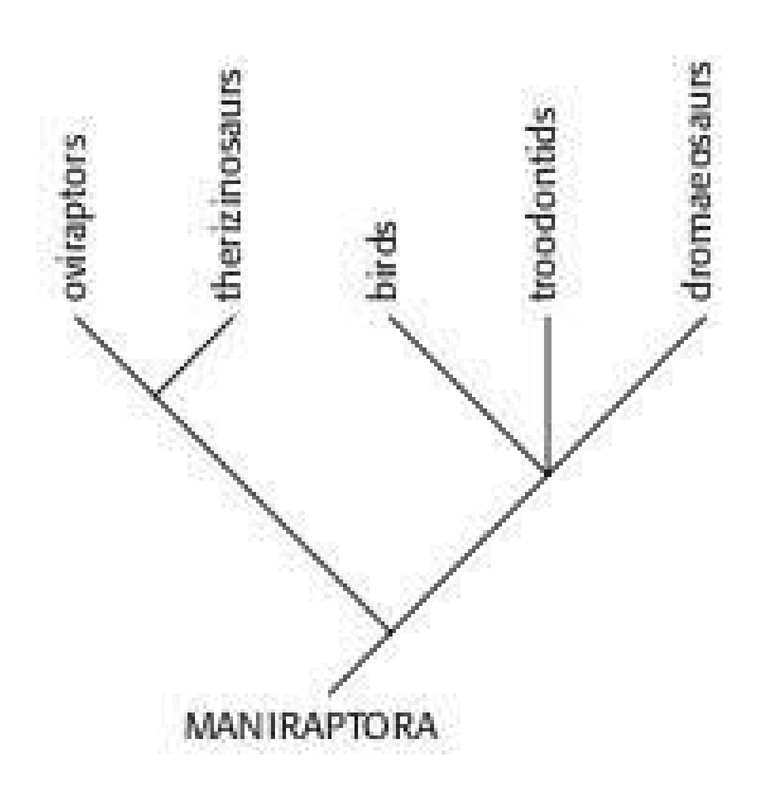




الصور ١٢– ٧ Tyrannosaurus rex جمجمة الديناصور العملاق الجبار الملقب بملك الزواحف. امتلك جمجة ضخمة، ولابد أن هذين الفكين كان سلاح القتل الرئيسي. يعتقد بعض العلماء أنه امتلك ريشًا على بعض أجزاء جسده على الأقل نظرًا لوجودها في أقاربه التطوريين، لكن لم يأت دليل من المتحجرات يؤيد ذلك. التيرانوصور)الاسم العلمي (*Tyrannosaurus* :وتختصر T.rex من اليونانية –τύραννος تيرانوص " =طاغي" و–σαῦρος سوروس " =عظاءة" اي العظاءة الطاغية . وهو ديناصور ضخم من أقوى وأشرس الديناصورات الآكلة للحوم .عاش منذ ما يقارب من خمسة وسبعين مليون سنة في الغابات القريبة من الأنهار وفي المناطق الساحلية الرطبة، خاصة المستنقعات .كان غايةً في القوة له عضلات بالغة الشدة، ويبلغ طول كل فك أكثر من متر. يعني الاسم العلمي للديناصور Tyrannosaurus rexباللاتينية "ملك السحالي الطاغية". وكانت له من خمسين إلى ستين سنا سميكة ومخروطية الشكل وحادة .قادرة على طحن عظام الفرائس . طول السن الواحدة كان يصل إلى أكثر من ثلاثين سنتيمتر .وكان يمكن للتيرانوصور أن يلتهم ٢٣٠ كيلوجراما من اللحوم والعظام في قضمة واحدة. اكتشفت جثث متحجرة لهذا الديناصور في أماكن عديدة في أنحاء العالم . واتضح أن جلده السميك يشبه جلد التمساح .كما وجدت هياكل عظمية متحجرة أحفوريات للتيرانوصور في غرب الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وكذلك في منغوليا) آسيا .(وكان طول هذا الديناصور نحو ١٢ متر وارتفاعه ستة أمتار، أما ذراعاه فكانتا قصيرتين ، لا يزيد طول الواحدة منهما عن متر ، ووصل وزنه إلى سبعة أطنان. كان التيرانوصور يتغذى على الديناصورات الكبيرة آكلة الأعشاب، مثل التريسراتبس، التي كان يطاردها بسرعة تبلغ حوالي خمسة وثلاثين كيلومترا في الساعة، ويتغلب عليها بواسطة مخالبه وأسنانه الرهيبة. يعتبر التيرانوصور ركس من أضخم الأحياء التي عاشت على الأرض وكانت آكلة للحوم. ويوجد أحد هياكله كاملة محفوظة في متحف فيلد للتاريخ الطبيعي، وتبلغ طوله ١٢,٣ متر أي حوالي ٤٠ قدم ويبلغ ارتفاعه عند خصره نحو ٤ أمتار أي حوالي ١٣ قدم. وتختلف تقديرات وزنه عند العلماء وتقدر ما بين ٤,٥ طن و٧,٥ طن .وتقدر التقديرات الحديثة وزنه بين ٤,٥ إلى ٨,٦ طن. كان التيرانوصور ركس أكبر من الديناصور المعروف ألوصور من العصر الجوراسي) منذ ٢٠٠ – ١٤٥ مليون سنة) وأصغر قليلا من ديناصور سبينوصور المعروف بآكل اللحوم من العصر الطباشيري 65 –145) مليون سنة سابقة) وأصغر قليلا أيضا من الجيجانتوصور آكل الأعشاب من العصر الطباشيري. كان عنقه قصيرا ومقوسا في شكل حرف "S„ يعمل على حمل الرأس الثقيلة .وكانت رجلاه طويلتين بالنسبة لجسمه، وأما ذراعيه فكانا قصيرين ولكن قويين .واعتقد لفترة طويلة أن الذراعين ينتهيان بإصبعين اثنين، ولكن ظهر بحث جديد لم ينشر في المجلات العلمية بعد يتكلم عن وجود إصبع ثالث منضمر. وكان ذيل التيرانوصور ركس طويلا قويا لموازنة البدن والرأس الثقيلين، ويتكون الذيل من نحو ٤٠ فقرة. ولتقليل الحمل على الحيوان فقد وجد أن العظام كانت خاوية. يبلغ طول جمجمة التيرانوصور ١,٥ متر. وبخلاف جماجم الديناصورات الأخرى فكان الجزء الخلفي للجمجمة عريضاً جداً، بينما الفم مسحوباً. بذلك كانت العينان متجهتان إلى الأمام مما يساعده على الرؤية المجسمة وتقدير جيد للأبعاد. عظام الجمجمة كانت كبيرة، وبعضها كان أيضا فارغا مما يعمل على مرونتها وخفتها. ولكن الفكان مع ذلك كانا يتميزان بقوة كبيرة على القبض، أكبر من قوة قاضمة لأي حيوان آخر. يتميز الفك العلوي للتيرانوصور بشكل حرف "U„ وليس في شكل "V„ كما هو شكل الفك في الحيوانات الأخرى التي هي ليست من نوع ثيرابود تيرانوصور. يساعد هذا الشكل للفك على التهام هبرات كبيرة من الحيوانات التي يصطادها إلا أنها في نفس الوقت مجهدة لأسنانه الأمامية.ﬥ وكانت له أسنان مختلفة الأشكال .وكانت أسنان الفك العلوي قريبة من بعضها البعض وشكلها على هيئة حرف "D„ قاطعة وذات تقوية عظمية من الخلف. وبقية الأسنان كانت قوية وشكلها مدبب في شكل "الموز" وبعيدة عن بعضها البعض، ويدعمها من الخلف أيضا أمشاط عظمية .وكانت أسنان الفك العلوي أكبر من أسنان الفك السفلي ماعدا الأسنان الخلفية في الفك السفلي. وقد عثر على أكبر سنة له متحجرة يبلغ طولها بالإضافة إلى جذر السن نحو ٣٠ سنتيمتر، وهذه السنة هي أكبر ما تم رؤيته من أسنان لديناصورات آكلة للحوم.صور التيرانوصور ركس في الماضي منتصباً مثل حيوانات كثيرة تمشي على قدمين، واعتبر الذيل بمثابة رجل ثالثة مثل الكنغر .يرجع ذلك التخيل إلى جوزيف لايدي الذي قام برسم هيكل التيرانوصور عام ١٨٦٥ لأول مرة .ثم رفع هنري أوسبورن – مدير المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي بنيويورك – عام ١٩١٥ الستار عن هيكل تيرانوصور ركس أيضا منتصباً مما عزز فكرة أنه كان يمشي منتصباً. وبقي الهيكل على هذه الهيئة نحو ١٠٠ سنة حتى فكك من بعضه عام ١٩٩٢ .حول عام ١٩٧٠ بدأ العلماء في التفكير بأن هذا الوضع ليس سليماً بالكامل إذ كان يؤدي إلى تغيرات في شكل عظام المفاصل مثل مفاصل الجزع والرباط بين الرأس والفقرات .وحتى الأعوام حول ١٩٩٠ حينما صدرت أفلام مثل "جوراسيك بارك" فعدل فيه وضع الجسم. وتبين التصورات الحديثة أن جسم التيرانوصور ركس كان موازياً للأرض تقريباً في حين يوازن الذيل ثقل الرأس. عرف أولا عظمة العضد للذراع. لذلك زود "أسبورن" الهيكل الذي عرضه عام ١٩١٥ للتيرانوصور أذرعة طويلة ذات ثلاثة أصابع مثل هيكل الألوصور .في نفس الوقت في عام ١٩١٤ وصف العالم "لورانس لامب " ديناصور " جورجوصور وهو أحد أقارب التيرانوصور بأن له إصبعين اثنين .وقد تأكدت تلك الحالة الفريدة عام ١٩٨٩ بعد العثور على أحد الهياكل MOR 555 للتيرانوصور ركس وكان ذراعيه كاملين. كذلك كان لهيكل تيرانوصور ركي "سوي" ذراعين كاملين.كان ذراعي التيرانوصور ركس قصيرة بالنسبة إلى جسمه واعتبر طولها ١ متر ولكنها قوية. وقد لاحظ أسبورن ذلك في عام ١٩٠٦ واعتقد أن التيرانوصور كان يستطيع مسك فريسته وكذلك مسك أنثاه عند الجماع. واعتقد أحد الباحثين آخر أن الحيوان كان في استطاعته القيام من وضع استلقائه عل الأرض بمساعدة ذراعيه.وعزز تلك الفكرة الدراسة البيولوجية الحركية فكان التيرانوصور يستطيع أن يمسك بفريسته بحيث ينهش بفمه الفريسة .ويعتقد أن ذراع التيرانوصور ركس كان يستطيع رفع ٢٠٠ كيلوجرام. ولكن مفاصل الكتف والكوع كانت لا تسمح إلا بحركة في حيز زاوية ٤٠ – ٤٥ درجة، في حين أن الدينونيكوس كان يستطيع تحريك ذراعيه بزاوية ٨٨ إلى ١٣٠ درجة (بالمقارنة بذلك فيستطيع الإنسان تحريك ذراعيه عند الكتف بزاوية ٣٦٠ درجة وتحريك مقصل الكوع بزاوية 165درجة). وتدل البنية القوية لعظام الذراع وعضلاته القوية على أن قوة الذراعين كانت كافية تماماً لمسك الفريسة.

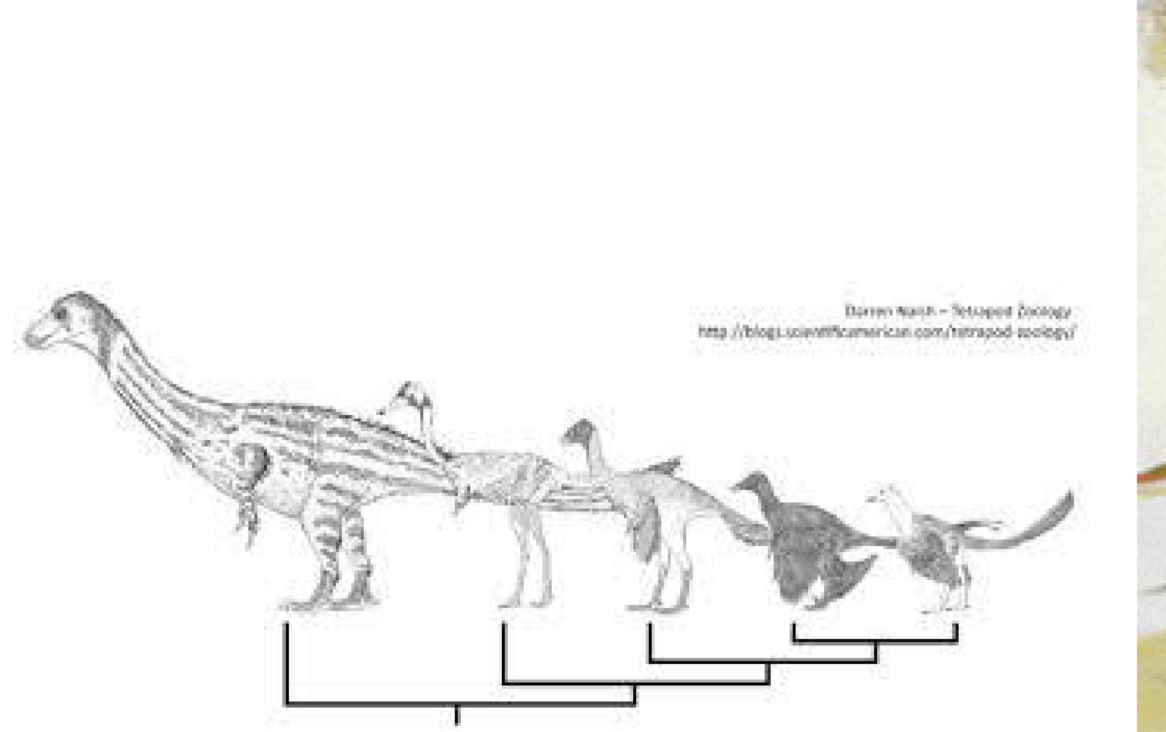
كان ثالث خط تحدر تحدر رئيسي للديناصورات مجوفة الفقرات الذيلية coelurosaurs يتألف من لواحم رشيقة صغيرة إلى متوسطة الأحجام، وهي الصائدات المخلبيات أو بالمخالب maniraptorans (انظر المخططين التطوريين ١٢– ٤ و١٢– ٨). كانت Oviraptors [المفترِسات حاضنات بيضها] ديناصورات بانية للأعشاش في منغوليا، سوف أدرِّسها لاحقًا. وكانت Therizinosaurs الديناصورات ذوات الأيدي الشبيهة بالمنجل ديناصورات لاحمة سائرة على قدمين كبيرة الأحجام مشابهة للطيور ظاهريًّا، والتي حُسِبَت قديمًا ولا تزال أحيانًا طيورًا. وكان Mononykus [ذو المخلب الواحد، حيث امتلك في كل يد مخلبًا واحدًا مع اندثار المخلبين الآخرين، مثل باقي الفصيلة التي ينتمي إليها وهي Alvarezsauridae] من العصر الطباشيري المتأخر في منغوليا ديناصورًا لاحمًا سائرًا على قدمين صغير الحجم ذا ذيل طويل حقًّا، لكنه امتلك عظم صدر [أو قصًّا مغروزًا فيه أطراف الأضلاع من الجانبين] مثل الذي لطير. كان ذراعاه معدَّلين كثيرًا، بحيث كان لليد إصبع واحد قوي غليظ ذي مخلب. لقد تساءل العلماءُ الذين وصفوا Mononykus

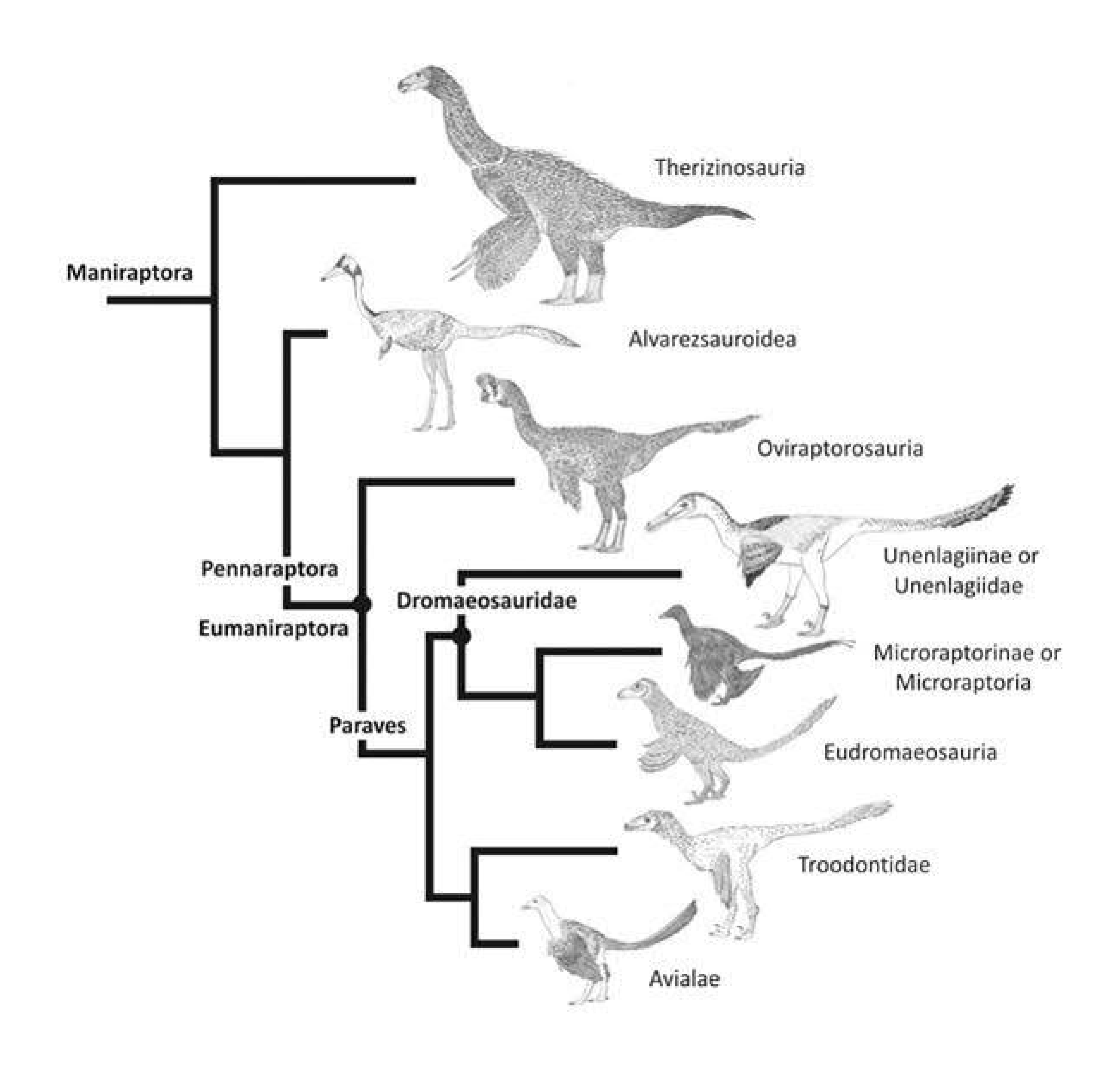
ما إذا كان قد حفر بهاتين اليدين الغريبتين، لكنهم أدركوا أن الحفر لا يناسب لاحمًا سائرًا على قدمين طويلًا وطويل الرجلين. أقترح أنه استعملها لاستخراج اللحم من جسم فريسته (ربما ثدييات صغيرة؟) أو لتشكيل عشه. سأقارنه إيكولُجِيًّا بالطيور ذوات الأرجل الثقيلة أو الشقبانيات الكبيرة Megapod التي لا تطير القاطنة لأستراليا ونيو جينيا [طيور من رتبة الدجاجيات، لا تطير حاضنة لبيضها وبانية للأكوام. مواطنها الطبيعية في أستراليا ونيو جينيا وإندونيسيا وجزر أندمان ونيكوبار في خليج البنغال]، والتي تبني عشًّا ضخمًا من أكوامٍ من ورق الشجر الذي تجمعه وتشكِّله بركله عكسيًّا باتجاه الخلف برجليها الكبيرتين. إنه مشهد هزلي حقًّا، خاصةً لأن الطير يحتاج أن يظل ينظر من فوق كتفه ليرى ما يفعله. أظن أن Mononykus كان أيسر عليه بكثير صنع عشه وقضى في عمله وقتًا أقل عُسْرًا بكثير. يبدو ذراعا Mononykus متطورين على وجه الخصوص للتقريب أو التوازن نحو المحور (أي يقدران على التحرك معًا تحت حِمْلٍ)، لذلك أتصوره يحفر عشًّا قليل العمق، ثم يكنس عليه النباتات أو التراب لتغطية البيض.

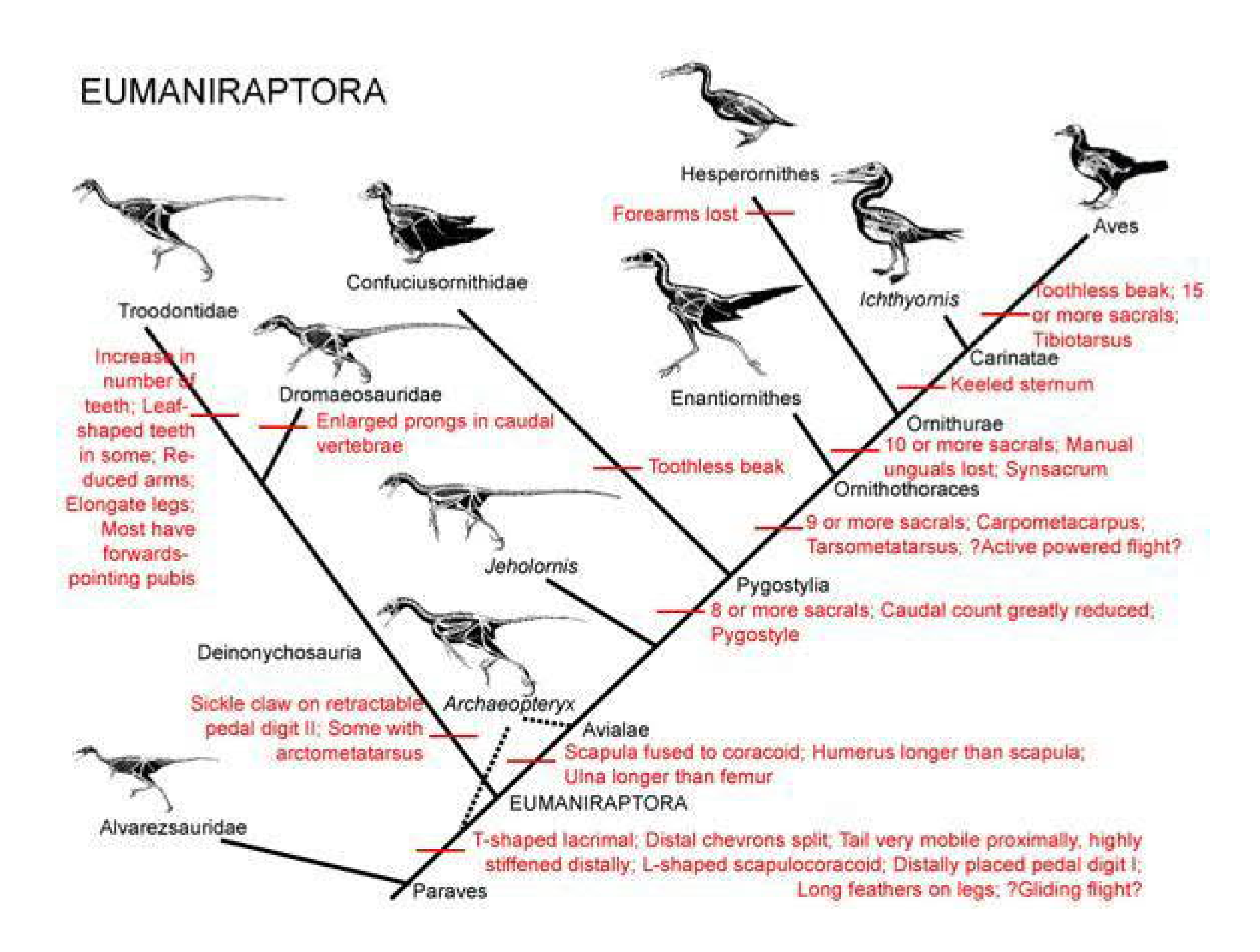


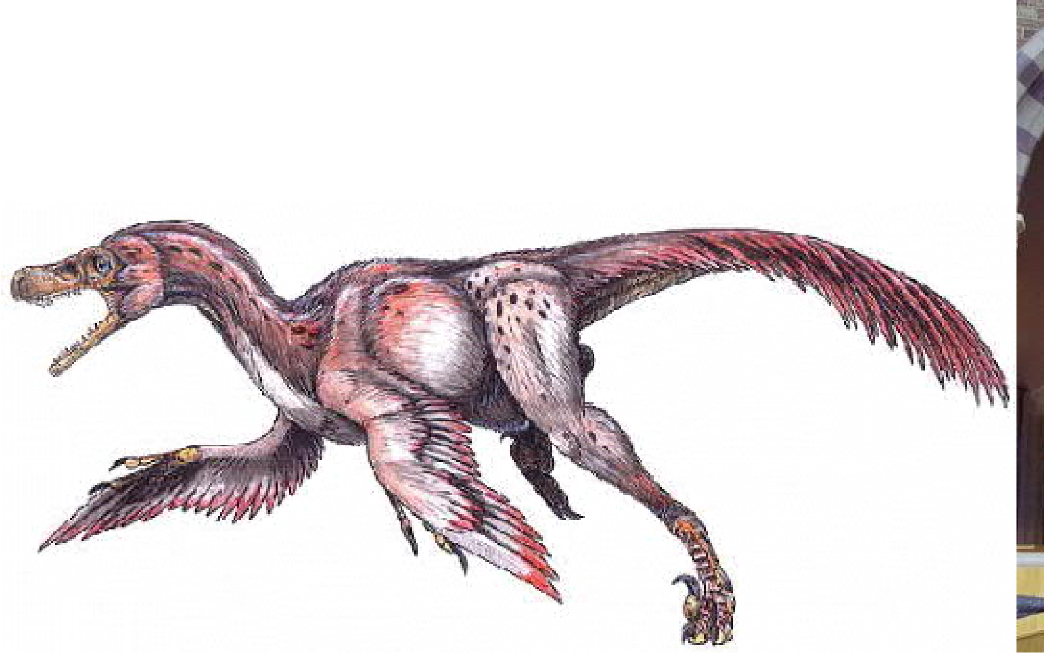
الشكل ١٢- ٨ أحد المخططات التطورية العديدة المحتمَلة لتشعب الصائدات بالمخالب maniraptorans





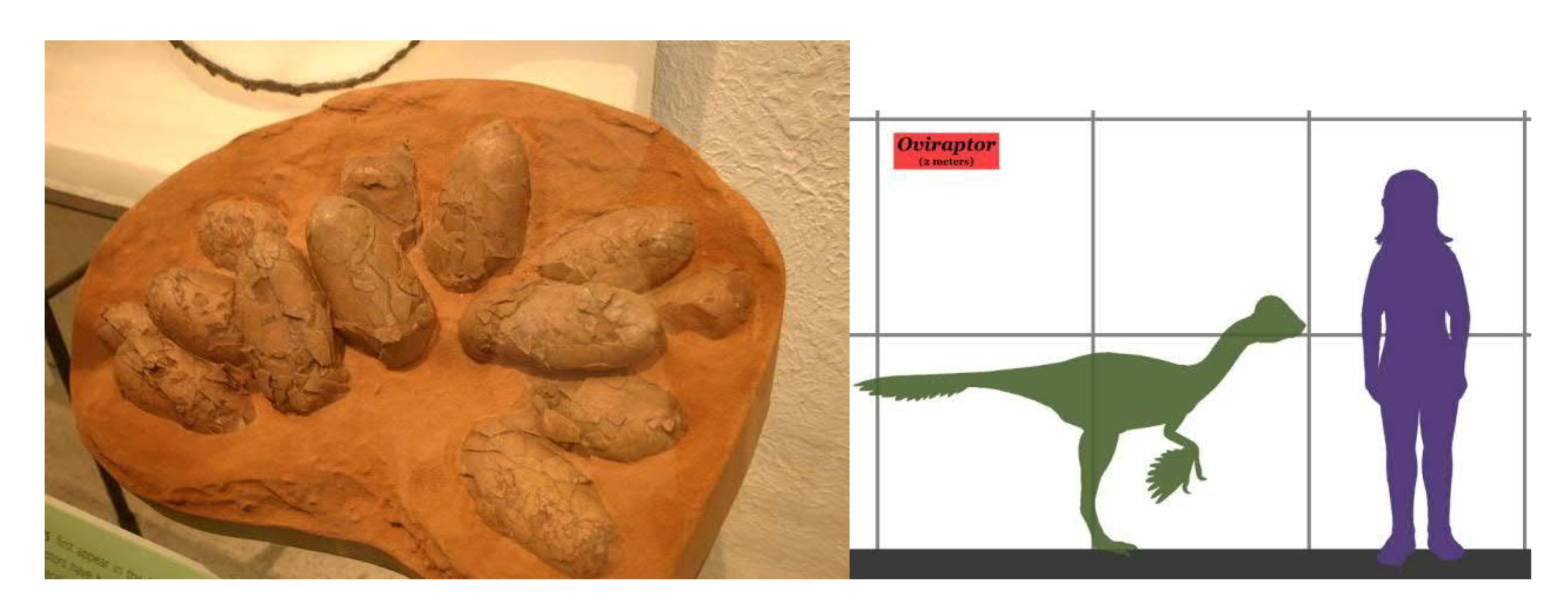

Therizinosauria
Maniraptora
Alvarezsauroidea
Oviraptorosauria
Unenlagiinae or
Unenlagiidae
Pennaraptora
Dromaeosauridae
Eumaniraptora
Microraptorinae or
Microraptoria
Paraves
Eudromaeosauria
Troodontidae
Avialae


EUMANIRAPTORA
Hesperornithes
Forearms lost
Aves
Ichthyornis
Toothless beak; 15 or more sacrals; Tibiotarsus
Troodontidae
Confuciusornithidae
Carinatae
Keeled sternum
Increase in number of teeth; Leaf-shaped teeth in some; Reduced arms; Elongate legs; Most have forwards-pointing pubis
Dromaeosauridae
Enantiornithes
Enlarged prongs in caudal vertebrae
Ornithurae
10 or more sacrals; Manual unguals lost; Synsacrum
Toothless beak
Ornithothoraces
9 or more sacrals; Carpometacarpus; Tarsometatarsus; ?Active powered flight?
Jeholornis
Pygostylia
8 or more sacrals; Caudal count greatly reduced; Pygostyle
Deinonychosauria
Sickle claw on retractable pedal digit II; Some with arctometatarsus
Archaeopteryx
Avialae
Scapula fused to coracoid; Humerus longer than scapula; Ulna longer than femur
EUMANIRAPTORA
Alvarezsauridae
T-shaped lacrimal; Distal chevrons split; Tail very mobile proximally, highly stiffened distally; L-shaped scapulocoracoid; Distally placed pedal digit I; Long feathers on legs; ?Gliding flight?
Paraves

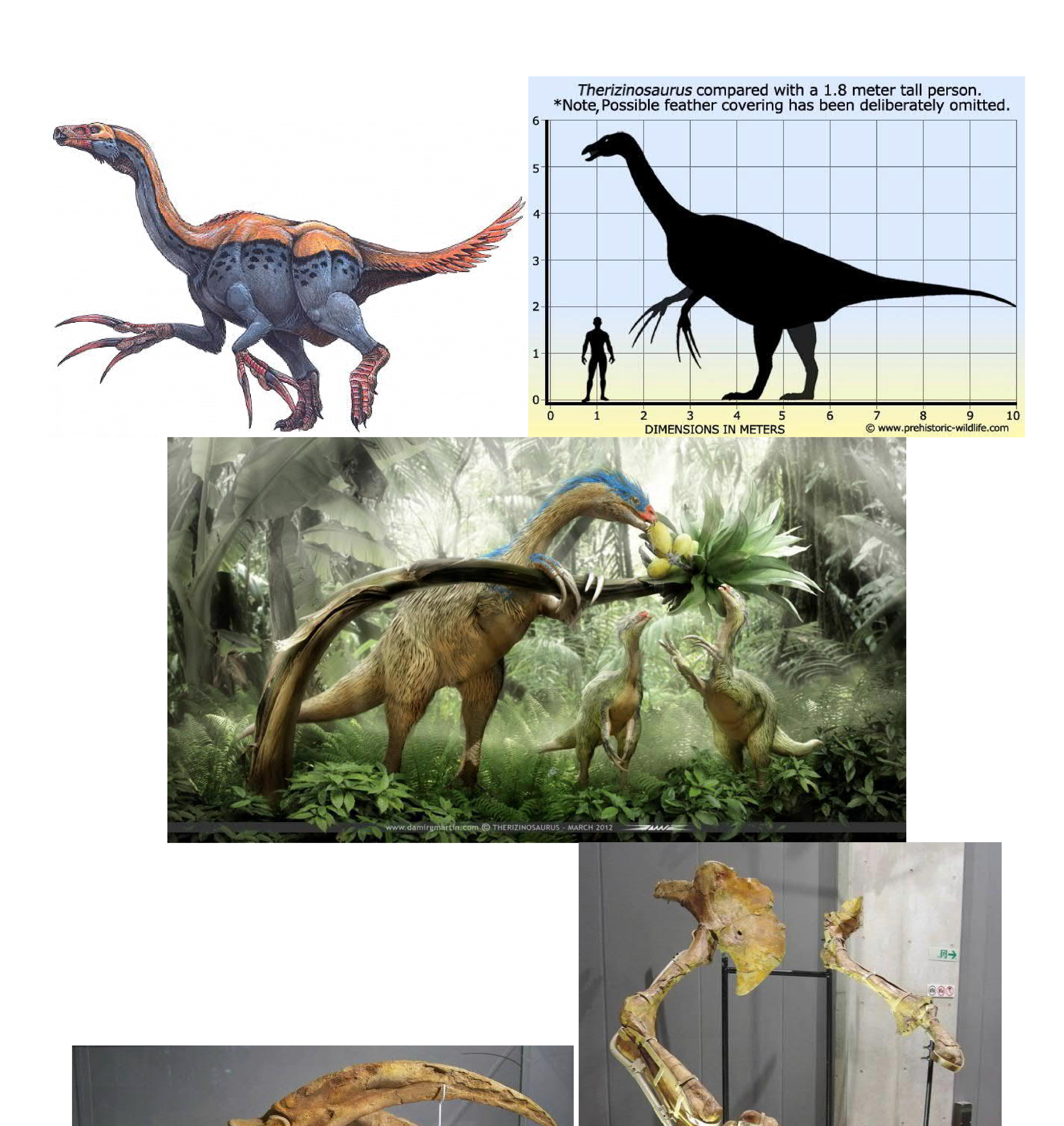




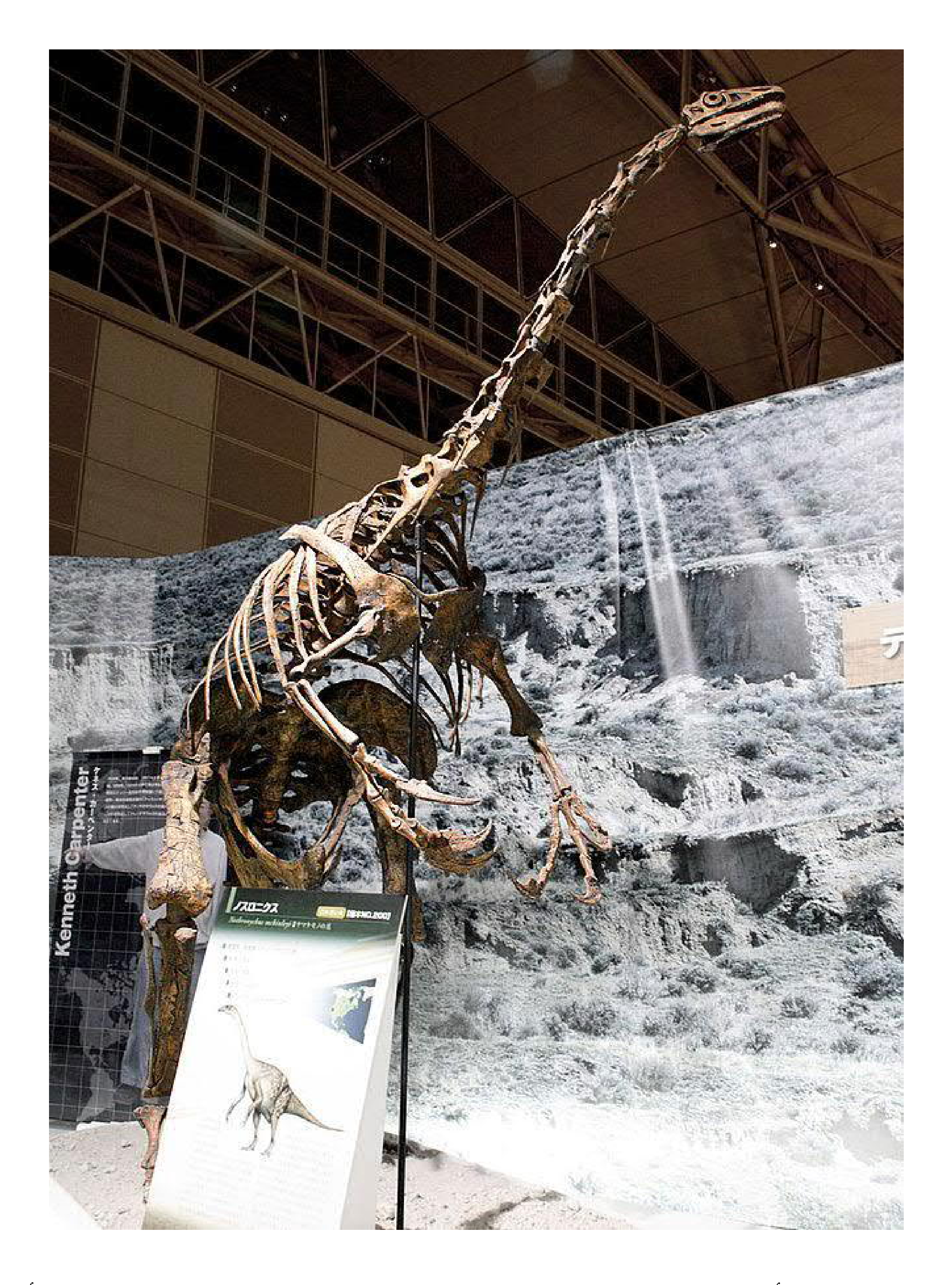
Maniraptorans مانيرابتورا أو صائدات مخلبية أو صائدات باليد في الجيولوجيا الحيوية، بالإنجليزية Maniraptora :هي مجموعة من الديناصورات تنتمي إليها فصيلة كويلوروصوريا و الطيور . Aves تتميز صائدات باليد بعظام للرسغ في هيئة نصف القمر. هذا يتيح لها حركة يسيرة لتحريك اليد ، وهو الشكل الابتدائي الذي يساعد الطيور على الطيران (اليدان بالنسبة للطائر هي جناحيه). كما أن الريش قد تطور في المانيرابتورا. المانيرابتورا (صائدات مخلبية) نشأت في العصور الجيولوجية المتوسطة كانت حيوانات أو طيور بدائية صغيرة أو متوسطة الأحجام. وكانت تتميز في نفس الوقت بمقارنتها بالديناصورات الأخرى بأن نسبة الدماغ إلى الجسم كانت أكبر. ويعتبرها العلماء أنها بذلك كانت أكبر ذكاءا وسريعة الحركة عند الصيد.



Oviraptors [المفترِس الحاضن بيضه]، الأوفيرابتور هو جنس من الديناصورات الثيروبودية الصغيرة التي قطنت أرض منغوليا خلال العصر الطباشيري المتأخر، عاش الأوفيرابتور خلال العصر الطباشيري المتأخر أو أكثر تحديداً أثناء الفترة الكامبانية قبل ٧٥ مليون عام، فلا يَعرف العلماء له سوى عينة واحدة حالياً (تلك التي تجاورت مع عُش البيض) من تشكيل دجادوكتا في منغوليا، مع أن عينة مُحتملة أخرى (يُجاورها بيض هي الأخرى) عثرَ عليها في شمال شرق منغوليا الداخلية في الصين ضمن موقع يُسمى "بايان مانداهو". أما عن طبيعة غذاء هذه الديناصورات الثروبودية الحقيقية فيُعتقد أنها كانت قارتة. فربما تألف غذاء الأوفيرابتورات من أصناف متنوعة تشمل اللحم والحشرات والبذور والنباتات وربما بعض الرخويات وبيض الديناصورات أيضاً (بالرغم من أن الدلائل تشير إلى أن أكلها للبيض غير مرجح كما ذكر آنفاً)، فقد اعتقد بارسبولد عام ١٩٧٧ أن غذاء الأوفيرابتور ربما تضمن بعض الرخويات مثل المحار الملزمي الذي من المحتمل أن الأوفيرابتور استطاع سحق صدفته الصلبة باستخدام منقاره القوي، ومما يَدعم هذا الافتراض العثور على ذلك المحار في نفس تشكيل الأورابتور الصخري.



ذراع ومخالب Therizinosaurs، Therizinosaurs الديناصور ذو اليد المِنجليَّة، وقد أعطى اسمه لفصيلة كاملة هي الديناصورات منجلية اليد أقاربه التطوريين الوثيقين Therizinosauridae



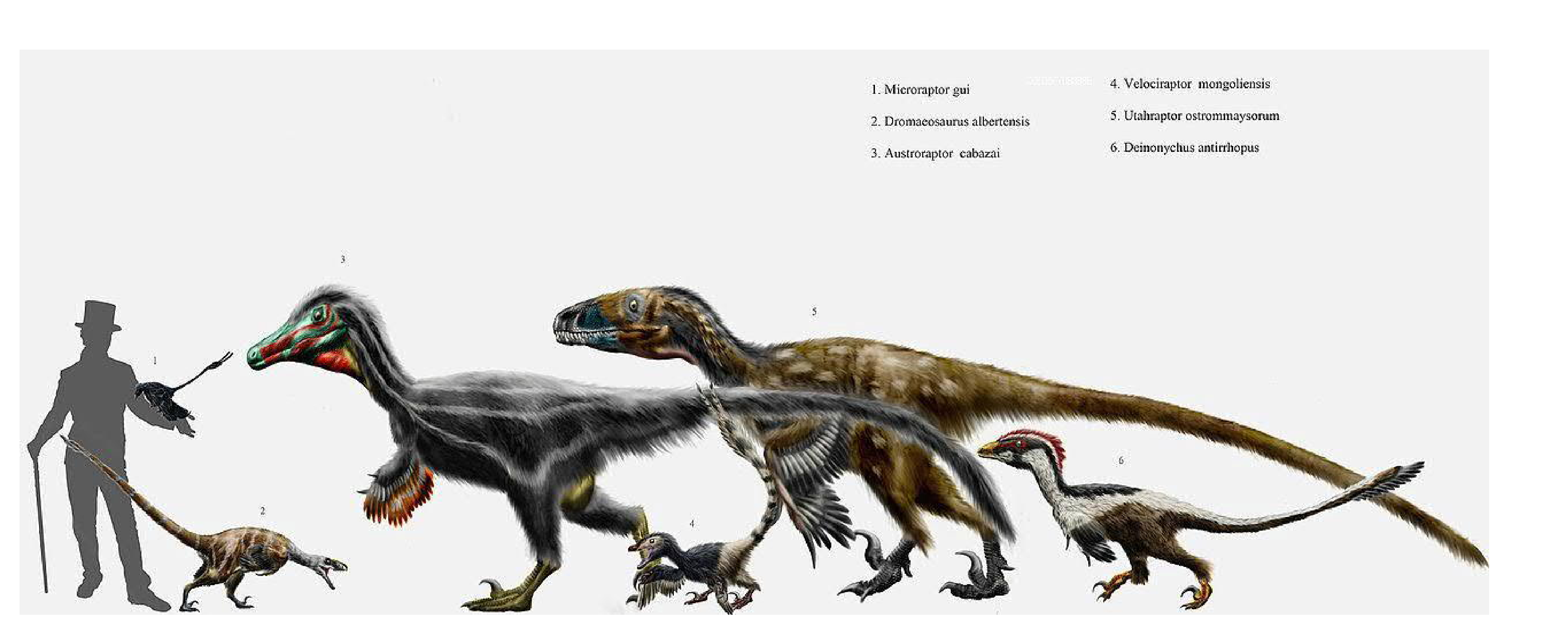
Nothronychus من فصيلة الديناصورات ذوات الأيدي المنجلية Therizinosauridae، ويعني اسم Nothronychus ذو المخالب الكسولة أو الشبيهة بمخالب حيوان الكسلان

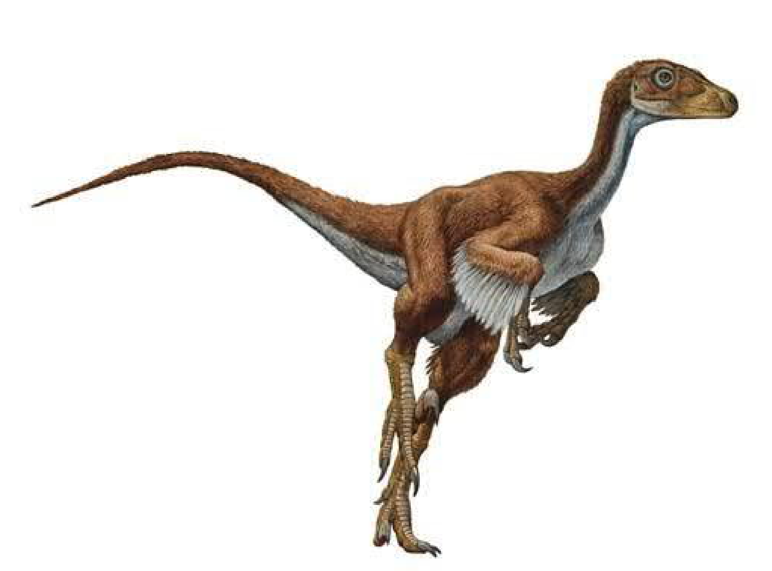
تضمن الفرع التطوري الرئيسي الآخر الخاص بالصائدات بالمخالب [maniraptors] الطيورَ وفصيلة الديناصورات اللاحمة الكثيرة الأسنان troodonts وفصيلة الديناصورات العدَّاءة dromaeosaurs. إن كثيرات الأسنان هي الأقل تخصصًا من بين الثلاثة فصائل (الصورة ١٢– ٩). تضمنت الديناصورات العدّاءة Velociraptor [الصياد أو المُمسِك السريع] وهو النجم الشهير لفيلم الخيال العلمي حديقة العصر الجوارسي Jurassic Park، و Deinonychus [يعني اسمه ذو المخالب الرهيبة] من العصر الطباشيري المبكر، وهو أحد أكثر اللواحم [المفترِسات] إثارةً للإعجاب من بين كل ما تطور منها على الإطلاق (الصورتان ١٢– ١٠ و١٢– ١١). لقد كان طوله حوالي ثلاثة أمتار ونصف، وكان سريعًا ورشيقًا على نحوٍ واضح، وكان له مخالب قاطعة مشرِّحة قاتلة في كلٍّ من يديه وقدميه، ومجموعة مثيرة للإعجاب للغاية من الأسنان.



الصورة ١٢– ٩ Troodon زاحف خفيف البنية من فصيلة الصائدات بالمخالب maniraptorans. كان ذا دماغ [مخ] كبير نسبيًّا.

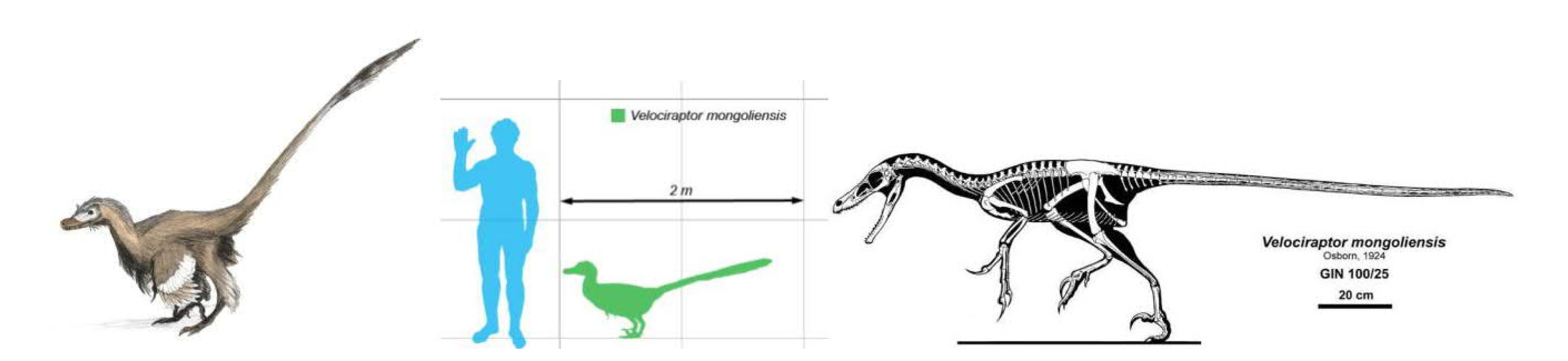
Troodonts ترودونتيدات (بالإنجليزية:Troodontidae) أو ذوات الأسنان الكثيرة، هي عائلة ديناصور مغطى بالريش من فصيلة مانيرابتورا، صغيرة الجسم يبلغ طولها نحو ٢ متر. وتتميز الترودونتيدات بصفات الداينونيكوصوريات مثل المخلب الكبير القوي على الإصبع الثاني من ثلاثة أصابع لكل رجل. تعتبر الترودونتيدات ديناصورات غبر طيرية وتتمتع بدماغ كبير بالنسبة إلى حجم جسمها. تنتمي إليها الداينونيكوصوريات التي تقترب من الترودون عن قرابتها ل فيلوكيرابتور. عاشت الترودونتيدات في أمريكا الشمالية القديمة وفي شرق آسيا في الفترة خلال العصر الجوراسي المتأخر منذ ١٦٥ مليون سنة وخلال العصر الطباشيري 65 – 161) مليون سنة سبقت)، وانقرضت خلال انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي. عثر على حفريات الترودونتيدات في منغوليا و الصين و في سَيْبِيرِيا، وكذلك في أمريكا الشمالية في مونتانا و ألبرتا و وايومينغ و ألاسكا. جمجمة الترودونتيدات خفيفة البنية وذات فم طويل وتتخلله فجوات .تنظر العينان إلى الأمام بحيث كان في استطاعة الحيوان على الرؤية المجسمة .الفم مشكل في هيئة أنبوبية وشكله مثلث عند رؤيته من الجانب. تتميز الترودونتيدات بأن لها أكبر عدد من الأسنان من بين معظم العائلة الكبرى الثيروبودا (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) .كان الفم يحوي ٣٥ سنة على كل فك. وفي مقدمة الفم يوجد عادة ٤ أسنان صغيرة ضيقة. الأسنان كانت مقوسة نحو الداخل ومسطحة من الجانب وشكلها من أعلى منشاري، ماعدا النوع "بيرونوصور " فكانت أسنانه ليست منشرية. الجسم والأطراف: لم يعثر على عمود فقري كامل للترودونتيدات. تتميز فقرات العنق بفجوات تعمل على خفتها ولا تتميز فقرات الظهر بتلك الخاصية. ولا يعرف الكثير عن الأضلاع إلى بعض أضلاع البطن. كذلك ما عثر عليه من حزام الكتف والعجز ليست كاملة. كانت عظمة الساق أطول من عظمة الفخذ. عظام القدم طويلة أيضا، وينتهي الإصبع الثاني بمخلب مقوس في شكل الهلال ولكنها ليست بقوة مخالب الدروميوصوريداي. تنتمي الترودونتيدات و الدروميوتصوريدات كعائلتين إلى العائلة الكبري الثيروبودا (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) . غذاءها وبيئتها: يعتبر معظم الترودونتيدات آكلة للحوم. ونظرا لصغر مخلبها بالمقارنة بمخالب الدروميوصوريدات فيعتقد الباحثون أنها كانت تصطاد حيوانات أصغر منها مثل الحشرات و الثدييات الصغيرة، كما يعتقد أنها كانت تأكل بيض الديناصورات. كذلك نظرا لعدد أسنانها الكثيرة فيعتقد أن بعضها كان آكلا للنبات بالإضافة إلى أكل اللحوم (قارتًا. دراسة جمجمة الترودونتيدات تبين أن العينين كانت كبيرتين وكانت الأذنان الداخليتان كبيرتان مما يشير إلى أنها كانت ترى وتسمع جيدا. ويشير حجم الدماغ الكبير أيضا على تطوره ربما لتعزيز لرؤية والسمع الجيدين. كانت الرجلان الخلفيتان طويلتان وتشير إلى سرعتها في الحركة. وتشير دراسة عدة من أنواع التريدونتيدات الكبيرة إلى اكتمال نمو جسمها في أقل من ٥ سنوات. التفرع العائلي التطوري: تشكل البرودونتيدات مع المجموعة الأخت المسماة دروميوصوريداي الصنف داينونيكوصورات .و تعتبر الداينونيكوصوريات هي أخت العائلة الكبرى أفيالاي Avialae التي تفرعت منها الطيور .من أوائل الترودونتيدات نجد الصينوفيناتور الذي عثر على أحفوراته في الصين وأتى من بعده "أنكيورنيس" و "ماي."







Dromaeosaurus الدرومايوسور أي "السحلية العدَّاءة"، من الكلمتين الإغريقيَّتين – دروميوس – التي تعني "العدَّاء" و –صور – التي تعني "سحلية") هو جنس من الديناصورات الثيروبودية التي عاشت خلال الفترة الكامبانية الوسيطة المتأخر في العصر الطباشيري) من ٧٦,٥ إلى ٧٤,٨ مليون سنة من الآن تقريباً)، وقطنت غرب الولايات المتحدة وولاية ألبرتا الكندية. كان الدرومايوسور لاحماً صغيراً، بلغَ طوله حوالي مترين ووزنه ١٥ كيلوغراماً تقريباً. كان فمه مليئاً بالأسنان الحادة، وكان لديه مخلب كاشط كبيرُ في قدميه. وقد عاشَ هذا الديناصور خلال الفترة الكامبانية من العصر الطباشيري المتأخر، لكن على الرُّغم من ذلك فبعض الأسنان التي قد تنتمي إلى الدرومايوصور تُعود إلى الفترة المآسترتشية المتأخرة قبل ٦٥,٥ مليون سنة تقريباً (وقد استُخرجت من تشكيلي لينس وكريك هل. كانت جمجمة الدرومايوصور قويَّة نسبياً، فيما أن خطمه كانَ غائراً فيها إلى حد ما. وأما أسنانه فقد كانت كبيرة، ولم يَكن لديه سوى ٩ منها في فكّه العلويّ. يُغذِّي وريد الجانب الخلفيّ من الرأس عندَ "الدرومايوصور الألبرتيّ" عضلات الرَّقبة الأماميَّة عبرَ عرقين طويلين يَسيران خلال الرأس. على الرغم من أن الدرومايوصور تلقّى اهتماماً واسعاً جداً في كتب الديناصورات الشعبية ونُصبت مجسَّمات لهياكل عظميَّة مُكتملة له في المتاحف حول العالم، فإنه في الحقيقة وعلى النقيض من ذلك ليسَ معروفاً إلا قليلاً من أحافيره نفسها. فعلى سبيل المثال لم يَكن من المُمكن إعداد مجسَّم هذا الديناصور المَعروض في متحف تيريل الملكي لعلم الإحاثة إلا باستخدام المَعلومات التي حصل عليها العلماء من الدرومايوصوريَّات الأخرى التي اكتُشفت حديثاً، لا من الدرومايوصور نفسه. اكتُشفت أوَّل أحفورة درومايوصور معروفة في عام 1914، حيثُ اكتشفها الإحاثي بارنوم براون خلال بعثة التحقَ بها توجَّهت نحو نهر الغزال الأحمر برعاية المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي .وتُعد المنطقة التي عُثرَ فيها على هذه الأحافير الآن جزءاً من حديقة الديناصورات الإقليمية في ولاية ألبرتا بكندا .وأما النوع الكامل للدرومايوصور فقد تألَّف من جُمجمة جزئية بلغَ طولها ٢٤ سنتيمتراً معها فك سفلي ومشط يد وبعض عظام الرَّقبة والقدم، وحازت هذه العيِّنة على رقم" م.أ.ت.ط ."6356 كما عُثرَ في ألبرتا ومونتانا أيضاً عبر عدة اكتشافات على عدة شظايا جماجم أخرى وحوالي ٣٠ سن. وصفَ بارنوم براون ووليام دلير ماثيو في عام ١٩٢٢ النوع الرئيسي للدرومايوصور، وهوَ "الدرومايوصور الألبرتيّ" باللاتينية .(Dromaeosaurus albertenis: وقد اشتُق اسم الجنس (الدرومايوصور) بالأصل من الكلمتين الإغريقيَّتين – دروميوس – التي تعني "العدَّاء" و –صور – التي تعني "سحلية"، وأما اسم النوع فهوَ في إشارة إلى ولاية ألبرتا الكندية حيث عثر عليه. تُصنَّف عموماً سبعة أنواع أخرى ضمن جنس الدرومايوصور غيرَ نوعه الرئيسي، وهيَ (مع أسماء الإحاثيين الذين اكتشفوها وتواريخ اكتشافها بين قوسين، فأسماء الذين وصفوها معَ تواريخ الوصف" :(الدرومايوصور لايفيرونس) "كوب1876 ، ماثيو وبراون ١٩٢٢) و"الدرومايوصور غراسيليس ")مارش ١٨٨٨، ماثيو وبراون ١٩٢٢) و"الدرومايوصور إكسبلاناتوس) "كوب ١٨٧٦، كون ١٩٣٩) و"الدرومايوصور فالكولوس) "كوب ١٨٧٦، أولشيفسكي ١٩٧٩) و"الدرومايوصور كريستيتوس) "كوب 1876، ماثيو وبراون ١٩٢٢) و"الدرومايوصور مينتوس) "مارش ١٨٩٢، روسل ١٩٧٦) و"الدرومايوصور المنغولي) بارسبولد ١٩٨٣، باول ١٩٨٨). بُنيت معظم هذه الأنواع على أساس بقايا جزئيَّة جداً، وتبيَّن أن العديد منها تنتمي في الحقيقة إلى أجناس أخرى من الديناصورات. وعموماً يَبدو أن الدرومايوصور كان أندرَ في بيئته الطبيعية من جميع الثيروبودات (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) الصغيرة الأخرى.



Velociraptor ويعني اسمه المفترس أو الصياد السريع، الفيلوسيرابتور وأحياناً يُختصر اسمه بـ"رابتور"، وهو يَعني "المُمسك السريع ("هو جنس من الديناصورات الثيروبودية الدرومايوصورية التي عاشت قبل ٧٥ إلى ٧١ مليون سنة خلال العصر الطباشيري المتأخر .يُوجد حالياً نوعان مُؤكدان فقط من الفيلوسيرابتور (وذلك بالرغم من أنه نسبت إليه بعض الأنواع الأخرى في السابق التي لم تعد الآن تصنف ضمنه أو لم تعد تعتبر أنواعاً جديدة)، وهما النوع الرئيسي" فيلوسيرابتور. المنغولي" (الذي اكتشفت أحافيره في منغوليا (ونوع آخر يُسمى "فيلوسيرابتور. أوسمولسكاي" الذي حصل على اسمه في عام ٢٠٠٨ بعد اكتشاف جمجمة له في منغوليا الداخلية، الصين. مع أن الفيلوسيرابتور كان أصغر من الدرومايوصوريات الأخرى مثل الداينونيكوس والأخيلوبيتور بل وقارب حجمه حجم الدجاج الرومي الحديث، فقد كان هذا الديناصور يَتشارك مع أفراد الفصيلة الآخرين العديد الصفات التشريحية .فقد كان لاحما مُريشاً ثنائي الحركة ذا ذيل طويل غير مرن ومخالب منجلية الشكل تبرز من كل قدم خلفية له (والتي يُعتقد أنه كان يَستخدمها للقضاء على فريسته .(ويُمكن تمييز الفيلوسيرابتور عن الدرومايوصوريات الأخرى بجمجمته الطويلة والنحيلة وخطمه المرتفع. يُعد الفيلوسيرابتور أحد أكثر أجناس الديناصورات شهرة بين العامة بسبب دوره البارز في سلسلة أفلام الحديقة الجوراسية .لكن بالرغم من ذلك فتشوب هذه الأفلام عدة أخطاء فيما يَتعلق بتشريح الفيلوسيرابتور، منها أنه يَظهر فيها بحجم أضخم بكثير مما هو عليه في الحقيقة وأن جسمه يَكون غير مغطى بالريش. والفيلوسيرابتور ليس معروفاً كثيراً بين العامة وحدهم بل أيضاً بين الإحاثيين، فهو يَملك أكثر من دزينة من أحافير الهياكل العظمية المَوصوفة، وهذا أكثر مما يَملكه أي درومايوصوريّ آخر. ومن أحافير الفيلوسيرابتور المَشهورة بشكل خاص أحفورة تظهره خلال عراك مع بروتوسيراتوبس. كان الفيلوسيرابتور درومايوصورياً متوسط الحجم، فقد بلغ طول الفرد البالغ منه ٢,٠٧ م وارتفاعه ٠,٥ م

عند الكتف ووصل وزنه إلى ١٥ كيلوغراماً .بلغ طول جمجمة هذه الديناصورات ٢٥ سم، بينما كان الجزء الخلفيّ من جماجمها ناتئاً إلى الأعلى إلى حد غير اعتيادي. أما فكوكها فقد ملئت بعدد يَتراوح من ٢٦ إلى ٢٨ سناً على كل فك تفصل بينهم مساحات واسعة نسبياً، وقد كانت أسنانها الأمامية مُسننة (أي تبرز منها نتوءات صغيرة كثيرة) أكثر من الخلفية، وربما كان الغرض من هذا تحسين القدرة على التشبث بالفريسة سريعة الحركة. امتلك الفيلوسيرابتور مثل الدرومايوصوريات الأخرى كفاً مُزوداً بثلاث أصابع تبرز منها مخالب شديدة الانحناء، وقد كانت عظام هذه المخالب مُشابهة في بِنيتها ومرونتها لعظام أجنحة الطيور الحديثة. كان الإصبع الأوسط هو الأطول من بين أصابع الفيلوسيرابتور الثلاث، بينما كان الأول هو الأقصر. وقد منعت بنية الرسغ عند هذه الحيوانات معصمها من الالتفاف وأجبرت كفيها على أن يَظلا مثبتين في وضعية تكون راحتهما فيها مُوجهة إلى الأمام لا إلى الأسفل. أما الإصبع الأول من أصابع قدمها فقد كان – كما هي الحال عند مُعظم الثروبودات – عبارة عن زمعة صغيرة، لكن بالرغم من ذلك فقد سارت هذه الديناصورات على إصبعيها الثالث والرابع فقط على عكس الثيروبودات (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) الأخرى التي كانت تسير على ثلاث أصابع .أما إصبع الفيلوسيرابتور الثاني الذي يُعد من أشهر مُميزاته فقد كان مُتكيفاً ومتطوراً إلى حد كبير وظل دائماً مَرفوعاً عن الأرض. وقد برز منه مخلب كبير نسبياً ومنجليّ الشكل (كما هو النموذجيّ عند الديناصورات الدرومايوصورية والترودونتية (بلغ طوله ٦,٥ سنتيمترات، وما يَجعل هذا المِخلب يَحوز كل هذه الأهمية أنه ربما كان أداة قتل استخدمها الفيلوسيرابتور لتمزيق فريسته، ومن المُحتمل أنه كان الضربة القاضية التي يَقتل فيها فرائسه. دعمت وقوَّت ذيل الفيلوسيرابتور نتوءات عظمية برزت فوقَ أسطح فقراته العلوية، بالإضافة إلى أوتار مُتعظّمة تحتَ الفقرات عملت على المساعدة في هذا الدعم. تبدأ هذه النتوات العظميَّة بالظهور على الفقرات ابتداءً من الفقرة الذيلية العاشرة عند الديناصور، ثمَّ تمتدُّ إلى الأمام لتُتوِّجَ ٤ إلى ١٠ فقرات أخرى. وقد جعلَت هذه الدعامات ذيل الفيلوسيرابتور بأكمله متصلّباً كأنه قطعة واحدة، بحيث أنه لا يُمكن ثنيه من المُنتصف. لكن على الرُّغم من ذلك فإنه في عينة واحدة على الأقل من هياكل هذا الديناصور المُكتشفة – وقد كانت الفقرات الذيلية فيها لا تزال سليمة – كان الذيل محنياً أفقياً على شكل رقم "٢" (أي أن الذيل كان مثنياً باتجاه اليمين واليسار لا الأعلى والأسفل، ويبدو كرقم ٢ عند النظر إليه من الأعلى لا من الجانب)، ويُوحي هذا بأن مرونة تحرك الذيل أفقياً كانت أكبر من مرونة حركته عمودياً. وربَّما منحت الفيلوسيرابتور هذه التكيفات في ذيله توازناً كبيراً عندما يَلف خلال الركض، خصوصاً عندما يعدو بسُرعات كبيرة عندما يُطارد فريسة مثلاً. اكتشفَ علماء إحاثيون في عام 2007بموقع في منغوليا أحفورة فيلوسيرابتور منغولي تحوي عقداً ريشية، وهو ما يُثبت أن الفيلوسيرابتور كان ديناصوراً مكسواً بالريش. يُعتَبر ديناصور الفيلوسيرابتور من الحيوانات ذات السلوك الافتراسي اتجاه المخلوق الأضعف. فقد اكتشف علماء الإحاثة سنة 1971عينة أحفورية تُبيّن فيلوسيرابتوراً يصارع بروتوسيراتوبس , مما دفعهم إلى افتراض أن الديناصورين غرقا في الوحل أو الرمال خلال تقاتلهما .لكن على الرغم من ذلك فإن العينة كانت محفوظة في كثيب رملي قديم من الرواسب الرملية التي حفظته من عوامل التحلل و التفتت، ولذلك على الرغم من وجود عدة احتمالات تتنبأ عن سبب الدفن الذي حصل للفيلوسيرابتور ، فإن الأرجح الآن أنه دفن في الرمال تحت تأثير عاصفة رملية قوية، مع الأخذ بالاعتبار احتمالية دفنه السريع بسبب انهيار في تل كان الحيوانان يتصارعان عليه و طمره بسرعة. شكل الأحفورة يَدل على أن الحفظ كان سريعاً جداً، مما حفظ الأحفورة من التحلل. تدل بعض أجزاء الهيكل للبروتوسيراتوبس غير الموجودة على أن هذه الأجزاء التقط وحملت بعيداً من مكانها الأصليّ على يد بعض الحيوانات المفترسة .أظهرت نتائج عدة مقارنات بين الحلقة الصلبة في كل من الفيلوسيرابتور والبروتوسيراتوبس والطيور الحالية والزواحف تفترض أن الفيلوسيرابتور هو حيوان ليلي ;أي يخرج للبحث عن طعامه في المساء، كما أظهرت أن البروتوسيراتوبس حيوان يصيد ليلاً وصباحاً. لذلك يمكن أن يكون الصراع الذي حدث بين الحيوانين قد حدث في الأوقات التي يكون فيها الضوء قليلاً. يحتوي الإصبع الثاني للدروماوصوريات على مخلب ذو شكل مميز. افتُرضَ أن الفيلوسيرابتور استخدمه لقطع أعضاء أو نزع أحشاء الفريسة المفروضة .يظهر ذلك جلياً عند أخذ نظرة عامة إلى أحفورة الديناصورات المتعاركة، حيث يظهر المخلب منجلي الشكل للفيلوسيرابتور المتمدد على أرضية العينة وهو في حنجرة الفريسة التي هي البروتوسيراتوبس. ويظهر أيضاً المنقار المميز للبروتوسيراتوبس مصيباً المهاجم. وهذا يُلزِمُ أن الفيلوسيرابتور كان يحاول إصابة منطقة الحنجرة عند خصمه لتوجيه ضربة قوية له يُمكنها قطع الوريد الوداجي وغيره من الأوردية و الشرايين المهمة، فضلاً عن إصابة القصبة الهوائية، وهو ما من شأنه قتل الضحية على الفور.اكتُشفَ أن الطرف الداخلي للمخلب الذي يستخدمه الفيلوسيرابتور دائري الشكل تقريبا مع حدة تظهر غير عادية ,مما يَدعو إل ناالافتراض بأنه لم يكن يهاجم بطريقة تهدف إلى القطع أو الجرح الطولي. حيث يظهر ذلك على الحيوانات ذوات الأجسام الكبيرة العضلية والتي تتميز بجلد سميك، أنه من الصعب عليها بمكان أن تجرح الحيوان جرحاً غائراً أو طولياً عميقاً .تم اختبار هذه النظرية عن طريق وثائقي قامت به قناة بي بي سي البريطانية حول تأثير هذا السلوك المفترض تحت عنوان الحقيقة حول الديناصورات القاتلة في سنة ,2005حيث صنع المنتجون لهذا الوثائقي رِجلاً صناعية للفيلوسيرابتور بهدف دراسة تأثيرها، و ظهر أن المخلب استطاع حقاً أن يخترق قطعة لحم خنزير من البطن موضوعة لهذه التجربة، لكن المخلب لم يستطع نزع الأحشاء و تحويل الجرح إلى جرح مفتوح إلى الخارج. مع ذلك لا يأخذ بهذه التجربة على محمل الجد بسبب عدم وقوعها كتجربة بأيدي علماء، لذلك لا يمكن التحقق من نجاح النتائج المرجوة منها.

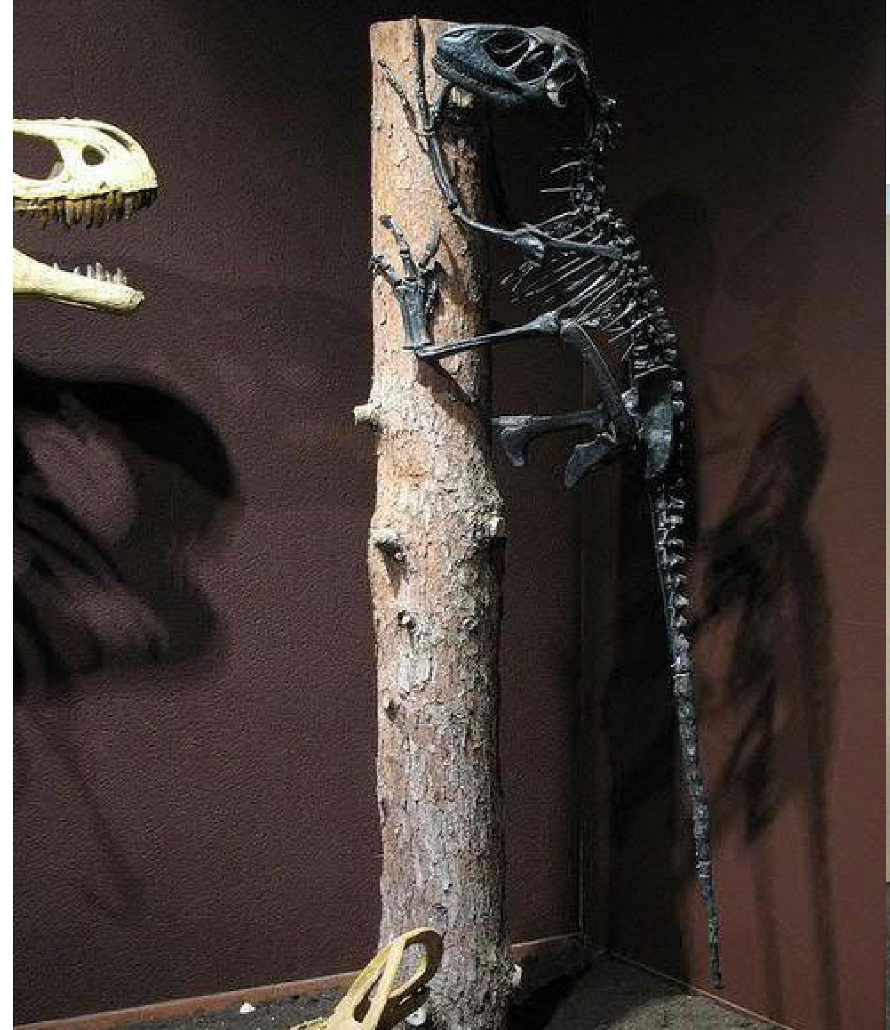




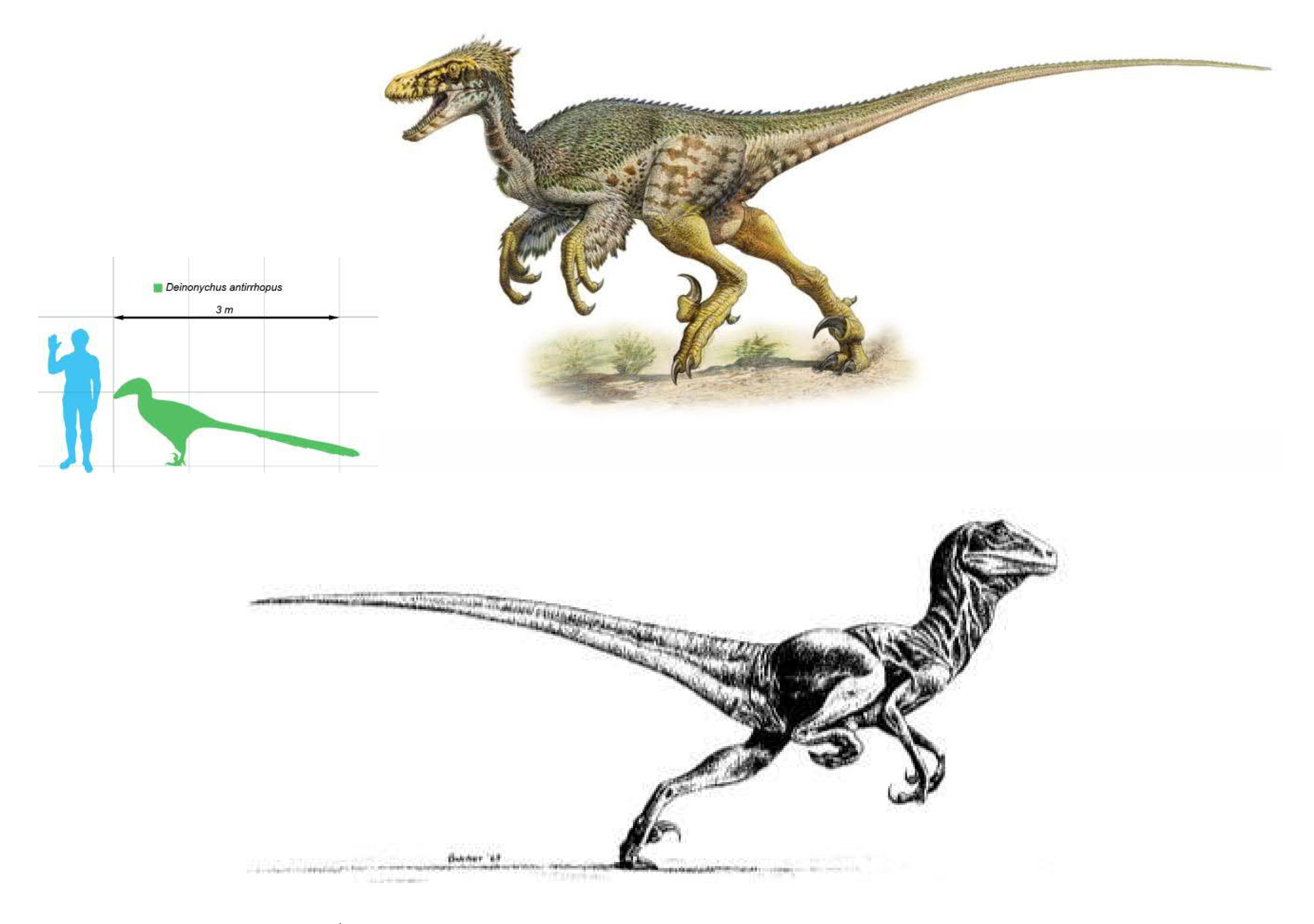
رسم لداينونيكسات غير ذات ريش تهاجم إجوانودون.







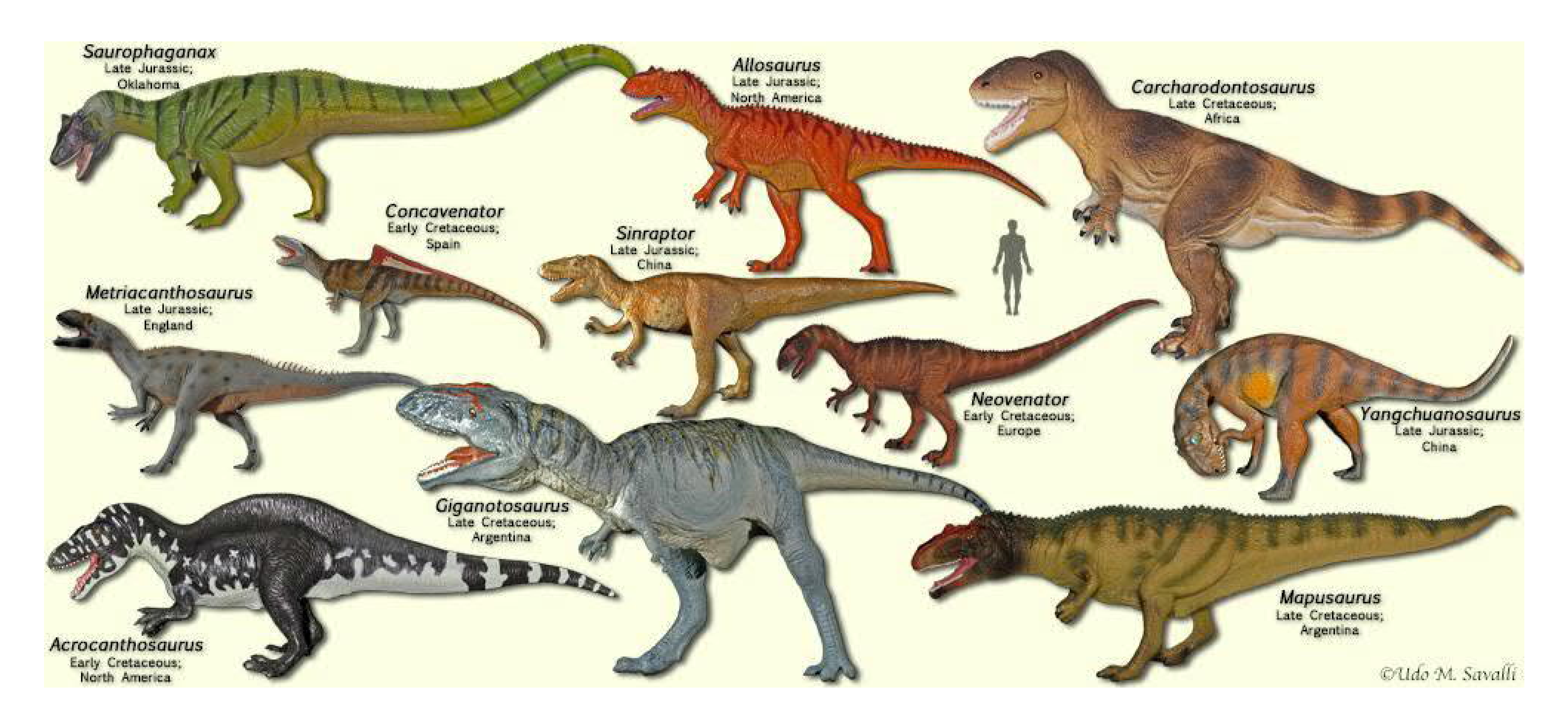




الصور ١٢- ١٠ و١٢- ١١ تُظهِر رسومات الرسامين المتخصصين الحيوان Deinonychus كمفترس فوي سريع الركض. كان الذيل مربوطًا بأربطة ليعمل كأداة ثقل موازي موازِن لعمل الالتفات الرشيقة. كانت جمجمته طويلة خفيفة قوية، والأسنان متطورة للإمساك والجرح والقطع.

Deinonychus دينونيكوس (باللاتينية: Deinonychus) وتعني ذو المخالب الرهيبة، هو ديناصور وحشي من أكلة اللحوم من فصيلة Dromaeosaurus الدرومايوسور أي "السحلية العدَّاءة"، عاش في بداية العصر الطباشيري منذ حوالي ١٢١ مليون سنة في شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية. يبلغ طول الداينونيكوس حوالي ٣ أمتار، ويبلغ ارتفاعه ١,٢ متر، ويزن حوالي ٧٥ كيلوجرام. يتميز هذا الديناصور بأن له مخلب متعلق موجود في كلتا قدميه، وقد استخدم هذا المخلب لطعن وتمزيق لحوم ضحاياه من الديناصورات مثل التينونتوصور البسيتاكوصور. وجدت أحفورات ديناوصور الداينونيكوس في الولايات المتحدة الأمريكية في عدة أماكن في مونتانا ووايومينغ وأوكلاهوما في طبقات صخور تسمى طبقات كلوفيري وطبقات أنتلرس. كما وجدت أسنان – يعتقد أنها لهذه الفصيلة من الديناصور – في منطقة شرقية بعيدة في ماريلاند. عثر على أسنان وفيرة للداينونيكس مع أحفورات أخرى للأورينثوبودا تينونتوصور في طبقات كلوفيرلي. كما وجدت حفريتان للداينونيكس مع عظظام متحجرة للتينونتوصور. في الحفرية الأولى وهي تسمى "حفرية ييل " في مونتانا (طبقات كلوفيرلي) عثر على أسنان كثيرة وخمسة هياكل لداينونيكس وذيل لتينونتوصور .ويستنبط من هذا التجمع الكبير للداينونيكس مع جثة لتينونتوصور في حفرية واحدة تشير إلى أنهم كانوا يأكلون لحمه وربما كانوا يصطادونه. ويعتقد الباحثان أوستروم و"ماكسويل " أن الدانونيكس كان يعيش في مجموعات ويقوم بالصيد جماعيا وأن النينونتوصور وهو آكل للأعشاب والنبات كان من أهم الحيوانات التي كانوا يقومون بصيدها . كما يعتقد "كاربنتر" عام ١٩٩٨ أن استنتاج حفرية ييل مشكوك فيها بسبب – على حد تعبيره – أنه وجد ذيل التينينتوصور فقط ولأن الأحفورات والعظام المتحجرة التي وجدت في المكان كانت موجهة في اتجاه الشمال الغربي إلى الشمال الشرقي مما يشير إلى أن العظام كانت قد انجرفت ربما بالماء قبل أن تترسب وتتحجر. ويعتقد "كاربنتر" بالإضافة إلى ذلك أن العثور على أسنان كثيرة للداينونيكس إلى جانب التينونتوصور لا تدل على أنه كان صيادا وربما كان فقط يأكل الميتة . قام "باول جيجناك" وزملاؤه في عام ٢٠١٠ بوصف عظام تينونتوصور كانت عليها علامات عض أسنان ربما كانت لعضات داينونيكس. وأجري جيجناك دراسة بيولوجية حركية لمحاكاة عملية العض وتبين له أن آثار العض على العظام تعادل قوة ٣٣١٥ نيوتن .وتبدي بعض العضات قوة تبلغ ٨٢٠٠ نيوتن، وهذه تفوق بكثير قوة الداينونيكس على العض بالمقارنة بحجم جسمه. ولكن من النادر أن توجد آثار أسنان لديناصورات ثيروبودا (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) الكبيرة على عظام تينتوصورات لذلك تشير الدراسة إلى أن الداينونيكس لم يعيش فقط على أكل الميتة وإنما كان يقوم أيضا بافتراس فريسته وكذلك للدفاع عن نفسه . عثر في أحد حفريات في طبقات أنتلرس في أوكلاهوما على ٦ هياكل جزئية كبيرة لتينونتوصورات مع هيكل غير كامل لداينونيكس مع أسنان كثيرة من داينونيكس. وظهرت على عظمة العضد لتينتوصور آثار ربما ترجع إلى أسنان داينونيكس. وقام برينكمان وزملاؤه بتعيين وزن الداينونيكس وقدروه بين ٧٠ و ١٠٠ كيلوجرام في حين أن وزن التينينتوصور كتن يبلغ بين ١ طن و ٤ طن. واستنبطوا من ذلك أن داينونيكس منفردا كان لا يستطيع اصطياد التينينتوصور. بالتالي فكان هناك احتمال أن الداينونيكس كان يصطاد في جماعات. يرى العالمان "روش" و"برينكمان" عام ٢٠٠٧ أن الداينونيكس كان يعيش منفردا أو في أحسن الظروف أنه كان يعيش في جماعات شبه متماسكة، ووجدا مؤشرات في مواقع وجود حفريات للداينونيكس والتينينتوصورات أن طريقة تناول الغذاء كانت مشابهة لطريقة أكل الزواحف في عصرنا الحاضر. فعند اجتماع التماسيح الأمريكية حول فريسة فنجد أن الحيوانات الكبيرة

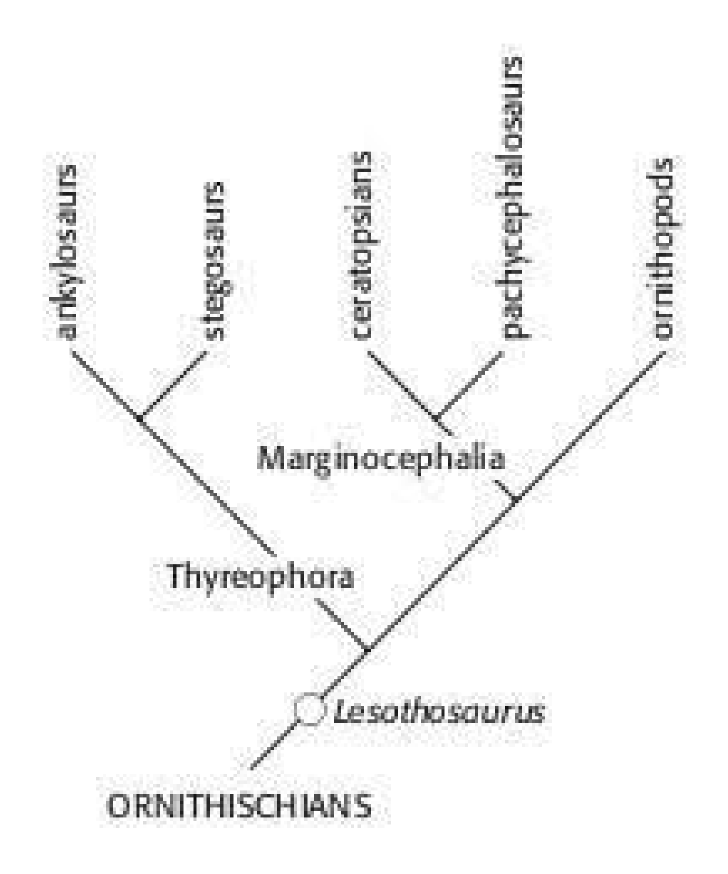
تبدأ بالأكل ويعتدون على الصغار إذا اقتربوا – فإذا قتل أحد الصغار أكله الكبار. ويعتقد روش وبرينكمان أن الداينونيكس والتينيتوصور كانت تتصرف بهذه الطريقة في الغذاء .ووجدا أن الهياكل التي عثر عليها في المنطقة وكانت غير كاملة للداينونيكس كانت لحيوانات لا تزال صغيرة سنا، ويبدو أن الأجزاء المفقودة من تلك الهياكل كانت تأكلها الداينونيكسات كبيرة العمر .
ومن جهة أخرى وصف "لي" وزملاؤه (٢٠٠٧) أثار أقدام على الأرض متحجرة لدروميوصورات تجري في مسارات متوازية، ويفسر الباحثون ذلك بأن تلك الكائنات كانت تعيش في جماعات. ورغما عن المؤشرات التي تشير إلى أن الدروميوصوريدات والداينونيكسات كانت تستطيع اصطياد حيوانات كبيرة مثل الإورينثوبودات فيشير ذلك إلى أنها كانت تتغذي على حيوانات صغيرة وعلى حيوانات كبيرة تفترسها كما تفعل الوحوش في عصرنا الحاضر .يؤيد ذلك ما عثر عليه في السنوات القليلة الماصية واكتشاف محتويات في أمعاء اثنين من الداينونيكسات، عثر عليهما في طبقات كلوفيرلي في مونتانا، وهي في هيئة متكورات صغيرة مليئة ببقايا عظمية وقد تفاعلت معها إنزيمات وتركت عليها أثار تآكل. وبينما توجد بينها بعض كسور عظام لديناصورات متوسطة الحجم تبين بعضها الآخر أنها مخالب صغيرة، أي أن الداينونيكس كان يعيش أيضا على افتراس حيوانات صغيرة. ورغم عدم العثور على حصوات معدة ولكن يدل الطحن الجيد للعظام المأكولة على أن حصوات المعدة كانت تساعد على تفتيت الأكل جيدا. ويعتقد العالم "بارسون" أن الداينونيكس كان انتهازيا مفترسا، وكان في وسعه حتى اصطياد حيوانات استطاعت الطيران كما رأينا مثلا في وجود مخلب في معدة أحد الداينونيكسات.



الديناصورات اللاحمة

الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري Ornithischians

كانت أقدم الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischians أول ديناصورات نباتية، وقد تحدر منهم تشعب رائع من الديناصورات، كانت كلها أيضًا عواشب، بالتقرير عن طريق أسنانها، وأكلت معظم الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري نباتات خشنة جدًّا منخفضة السعرات الحرارية، لذلك نزع الكثير منها إلى أن يكون متوسط الحجم على الأقل. لقد كانت أكثر الحيوانات آكلة النباتات تنوعًا ونجاحًا في دهر الحياة الوسطى Mesozoic، وكانت وفيرة الأعداد في الأنظمة البيئية الإيكولُجيّة الخاصة بالعهد الترياسي وحتى نهاية العصر الكربوني. تحدرت من ديناصورات ذوات ورك شبيه بالطيري أوليَّة صغيرة الأحجام سائرة على قدمين bipedal_مثل Lesothosaurus [الزاحف الذي من مملكة ليسوتو الأفريقية]_ مجموعات متطورة مشتقة الصفات كانت أثقل وزنًا بكثير، وزن بعضها خمسة أطنان أو أكثر (المخطط التطوري ١٢– ١٢). مثَّلت الديناصورات المدرعة (Thyreophora) فرعًا تطوريًّا مشتق الصفات تضمن Stegosaurs الديناصورات النباتية المغطاة بالأشواك الصفيحية العظمية و Ankylosauridae or ankylosaurs الديناصورات ذوات العظام المدموجة، وفرعًا تطوريًّا رئيسيًّا آخر هو الديناصورات ذوات الرؤوس الهدباء (Marginocephalia) والذي تضمن فصيلة الديناصورات النباتية ذوات الرؤوس القرناء Ceratopsians والديناصورات النباتية سميكة الرؤوس مدرعتها تدريعًا ثقيلًا والمزودة بقرون وزوائد Pachycephalosaurs. مع ذلك، فإن معظم الديناصورات ذوات الورك الشبه طيري ذوات الأحجام الأكبر كانت رتيبة ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل الطيور ornithopods، والتي تضمنت الديناصورات ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان سحلية الإجوانا iguanodonts والديناصورات ذوات المنقار الشبيه بمنقار البطة hadrosaurs.



الشكل ١٢– ١٢ مخطط تطوري للديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري.

Lesothosaurus [الزاحف الذي من مملكة ليسوتو الأفريقية Lesotho]. كان أحد أبكر الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالخاص بالطيور. كان طوله مترين، قارتًا سائرًا على قدمين. توحي رجلاه الطويلتان النحيلتان وذراعاه القصيران الصغيران وذيله النحيل بأنه كان راكضًا سريعًا. وككل رتبة الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالخاص بالطيور كان طرفا فكيه العلوي والسفلي قرنين، يشكلان بنية شبيهة بالمنقار. أظهرت الدراسات على بلى الأسنان [أي تآكلها] بريًا أقل بكثير مما كان سيُتوقَّع لكائن متغذٍ على نحو رئيسي على نباتات قاسية خاصة بالمناخات الجافة، واستنتجوا أنه كان على الأرجح قارتًا انتهازيًا، يتغذى على نحو رئيسي على الحيوانات الصغيرة خلال المواسم التي لا تكون فيها النباتات الأطرى متاحة.

Heterodontosaurus الديناصور ذو الأسنان متباينة الأشكال والأحجام، هو جنس من فصيلة الديناصورات المتباينة الأسنان Heterodontosauridae، عاش أثناء العصر الجوارسي، منذ ٢٠٠– ١٩٠ مليون سنة. لا يُعرَف من هذا الجنس إلا نوع واحد مكتشَف، ورغم صغر حجمه، فقد كان أحد أكبر أنواع فصيلته، وصل طوله إلى ما يتراوح بين 18 ,1 و7 ,1 متر، ووزن تتراوح تقديراته ما بين ٢ و١٠ كجم. كان جسده قصيرًا ذا ذيل طويل. كان له طرفان أماميان ذوا خمسة أصابع وطويلان وقويان نسبيًّا، بينما كان الطرفان الخلفيان طويلين نحيلين وبهما أربع أصابع. كانت الجمجمة مستطالة ضيقة وتبدو مثلثية الشكل عند النظر من الجانب. كانت مقدمة الفك مغطاة بمنقار قرني. كان له ثلاثة أنواع من الأسنان؛ تعتبر فصيلة ذوات الأسنان المتباينة أكثر المجموعات بدائية في رتبة الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالخاص بالطيور Ornithischia. ورغم أنيابه الكبيرة فيعتقد أن ذا الأسنان المتباينة كان نباتيا أو على الأقل قارتًا [يأكل النباتات واللحوم]. ويعتقد أنه كان سائرًا على قدمين.

Thyreophora تحت رتيبة حاملات الدروع أو الديناصورات المدرعة

Stegosaurs الديناصورات النباتية المغطاة بالأشواك الصفيحية العظمية على ظهرها.

Ankylosauridae ذوات العظام المدموجة، حيث كانت الكثير من عظام جماجمها وأجسامها مدموجة مما جعلها حيوانات غليظة. كانت نباتية على نحو رئيسي وملزمة بالمشي على أربع، وذوات أسنان على شكل ورقة الشجر وأجساد قوية مغطاة بالصفائح العظمية. وامتلكت رؤوسًا كشكل القبة وخطومًا قصيرة، وجلد متعظِّم على شكل الأوتاد على جلودها، وصفائح على طول جذوعها، وذيلًا به هراوة.

Marginocephalia تحت رتيبة ذوات الرؤوس المهدَّبة

Ceratopsians فصيلة الديناصورات النباتية ذوات الرؤوس القرناء

Pachycephalosaurs الديناصورات النباتية سميكة الرؤوس مدرعتها والمزودة بقرون وزوائد، كانت تسير على قدمين اثنين في وضع جسماني موازٍ للأرض.

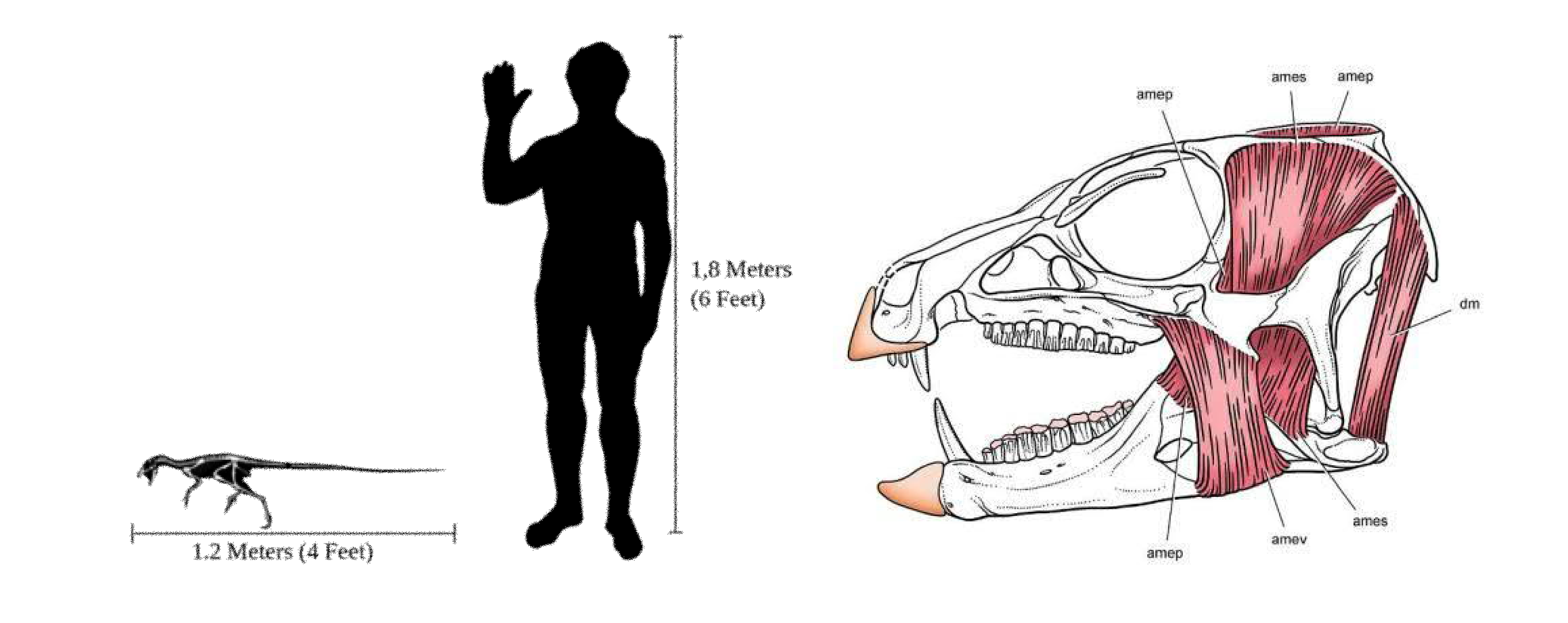
Ornithopods فصيلة الديناصورات النباتية ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل الطيور، حيث تعني كلمة الأورنيثوبودا "قدم الطائر"، وهي مُشتقة من الكلمتين الإغريقيتين "أورنيثوس" التي تعني "طائر" و"بود" التي تعني "قدم"، وقد أطلق على مَجموعة الأورنيثوبودا هذا الاسم نسبة إلى أقدامها التي تمتاز بامتلاكها لثلاث أصابع، وذلك مع أن العديد من الأورنيثوبودات المُبكرة حافظت على أصابعها الأربعة. بعضها سار على قدمين والبعض تطور باتجاه السير على أربع أقدام.

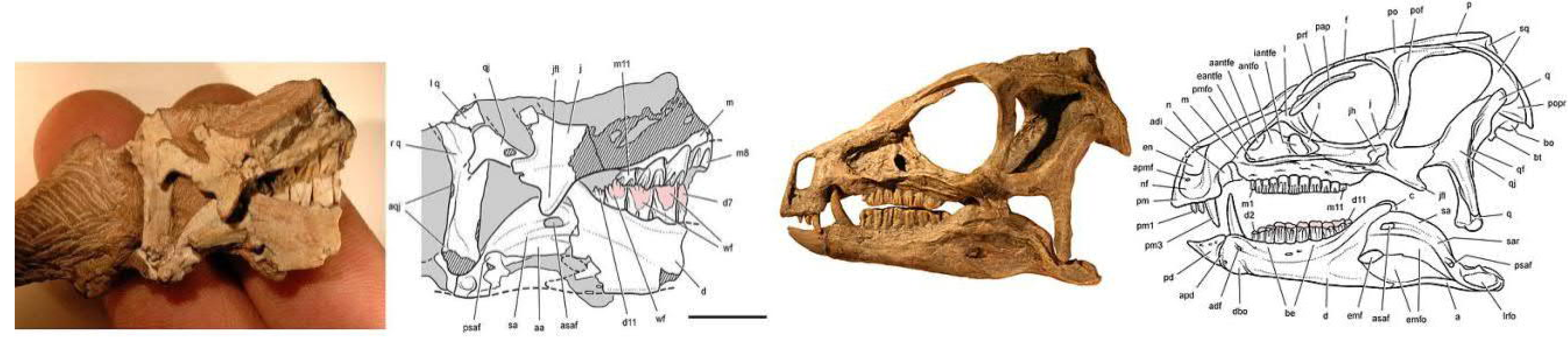
إن ذوات الورك الشبيه بالطيري المبكرة المعروفة لنا على أفضل نحو كانت ديناصورات سائرة على قدمين صغار الأحجام من العصر الجوارسي المبكر في قارّة جُنْدُوانا. كان Lesothosaurus [ديناصور مملكة ليسوثو] صغير الحجم رشيقًا راكضًا سريعًا، لكن امتلك بوضوح أسنان نباتي [آكل نباتات]. (الصور ١٢– ١٣ أ) وامتلك النوع Heterodontosaurus [الديناصور ذو الأسنان المتباينة الأشكال] أسنانًا أكثر تخصصًا في النظام الغذائي النباتي (الصور ١٢– ١٣ ب). كانت أسنانه الصغيرة في مقدمة الفك العلوي تقضم النباتات ضاغطة إياها على بطانة قرنية على الفك السفلي. تطور الأسنان

السفلية إلى أنصال قاصَّة لتقطيع النباتات. وكانت الأسنان ذوات شكل المقص للاستعراض أو القتال. كانت الأسنان الرحوية [الخدية] متموضعة في الداخل جدًّا، وذات تجاويف أو جربات عليها للاحتفاظ بالطعام النصف ممضوغ لمعالجته على نحو كفؤ.

Lesothosaurus [الزاحف الذي من مملكة ليسوتو الأفريقية Lesotho]. كان أحد أبكر الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالخاص بالطيور. كان طوله مترين، قارتًا سائرًا على قدمين. توحي رجلاه الطويلتان النحيلتان وذراعاه القصيران الصغيران وذيله النحيل بأنه كان راكضًا سريعًا. وككل رتبة الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالخاص بالطيور كان طرفا فكيه العلوي والسفلي قرنين، يشكلان بنية شبيهة بالمنقار. وخلف المنقار كانت هناك أسنان على شكل ورق الشجر مصطفة في الفكين، وقرب مقدمة الفك العلوي كان هناك ١٢ سنا شبيها بالأنياب. تحليل ودراسة أسنانه أثبتت أنه قطع الطعام بمنقاره ولم يكن قادرا على مضغه. أظهرت الدراسات على بلى الأسنان [أي تآكلها] بريًا أقل بكثير مما كان سيُتوقَّع لكائن متغذٍ على نحو رئيسي على نباتات قاسية خاصة بالمناخات الجافة، واستنتجوا أنه كان على الأرجح قارتًا انتهازيًّا، يتغذى على نحو رئيسي على الحيوانات الصغيرة خلال المواسم التي لا تكون فيها النباتات الأطرى متاحة. كانت جمجمته قصيرة ومسطحة، ذات محجري عينين كبيرين. كان لها خطوم قصيرة مدببة الشكل وكان أسنانها مدببة ذوات أثلام. كان رأسه متموضعًا على رقبة قصيرة مرنة









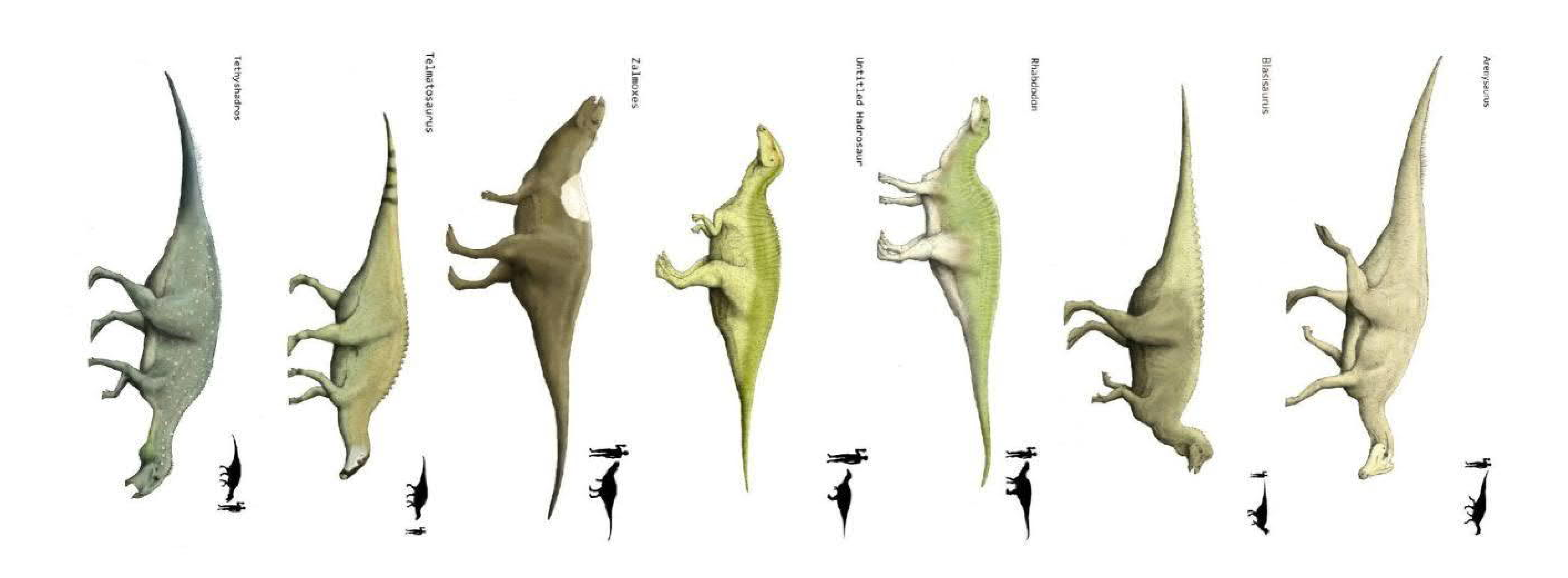
Heterodontosaurus الديناصور ذو الأسنان متباينة الأشكال والأحجام، هو جنس من فصيلة الديناصورات المتباينة الأسنان Heterodontosauridae ، عاش أثناء العصر الجوارسي، منذ ٢٠٠– ١٩٠ مليون سنة. لا يُعرَف من هذا الجنس إلا نوع واحد مكتشَف، وسمي عام ١٩٦٢ بعد اكتشاف متحجرة جمجمة له في جمهورية جنوب أفريقيا. وسمي كذلك للدلالة على أسنانه متباينة الأشكال الغير اعتيادية. ورغم صغر حجمه، فقد كان أحد أكبر أنواع فصيلته، وصل طوله إلى ما يتراوح بين 18 .1 و7 .1 متر، ووزن تتراوح تقديراته ما بين ٢ و١٠ كجم. كان جسده قصيرًا ذا ذيل طويل. كان له طرفان أماميان ذوا خمسة أصابع وطويلان وقويان نسبيًّا، بينما كان الطرفان الخلفيان طويلين نحيلين وبهما أربع أصابع. كانت الجمجمة مستطالة ضيقة وتبدو مثلثية الشكل عند النظر من الجانب. كانت مقدمة الفك مغطاة بمنقار قرني. كان له ثلاثة أنواع من الأسنان؛ ففي الفك العلي أسنان شبيهة بالمقص يتلوها أنياب طويلة. وكانت هناك فجوة تفصل الأنياب عن الأسنان الرحوية الشبيهة بالإزميل. تعتبر فصيلة ذوات الأسنان المتباينة أكثر المجموعات بدائية في رتبة الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالخاص بالطيور Ornithischia. ورغم أنيابه الكبيرة فيعتقد أن ذا الأسنان المتباينة كان نباتيا أو على الأقل قارتًا [يأكل النباتات واللحوم]. ويعتقد أنه كان سائرًا على قدمين. كان تبديل الأسنان متقطعًا وليس باستمرار، على خلاف الأنواع الأقارب التطورية له.

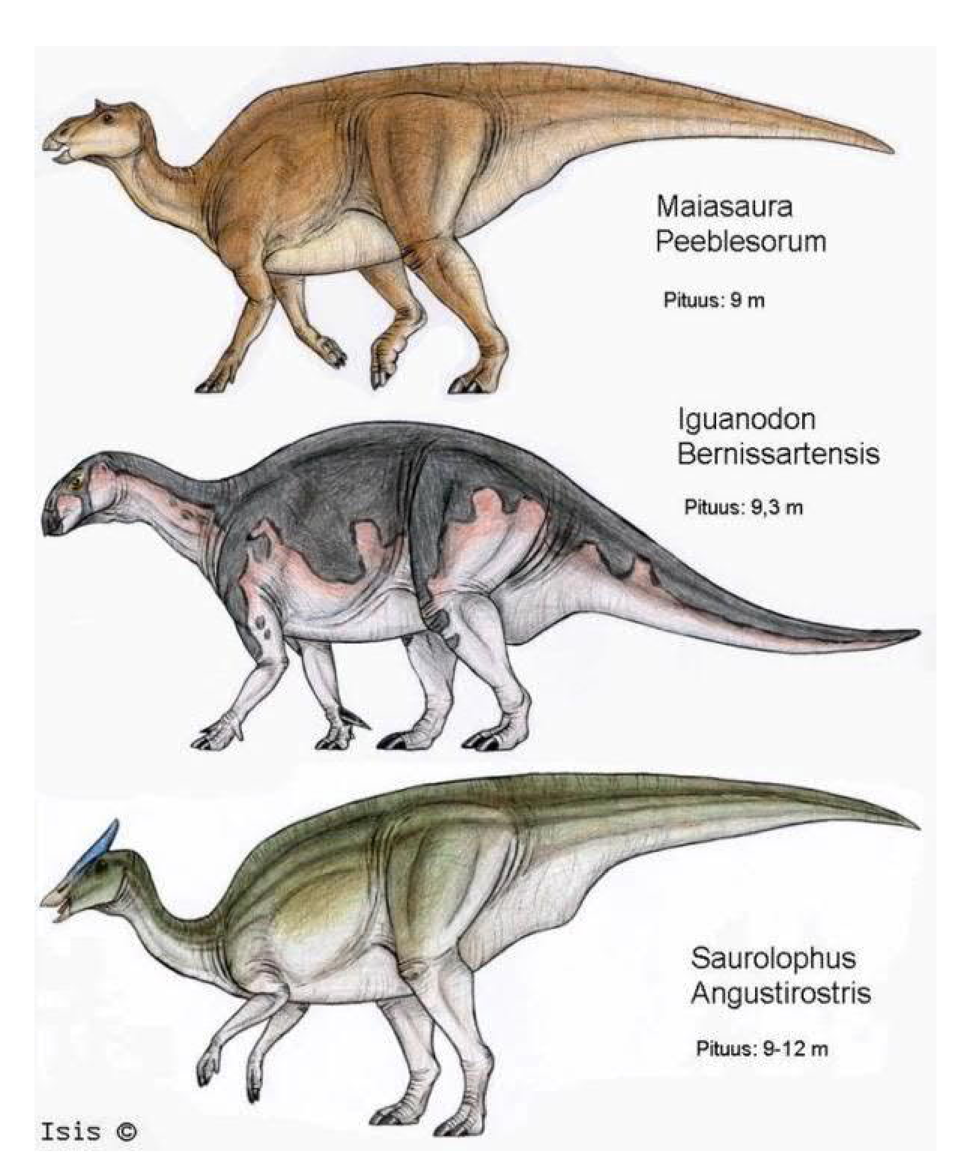
الصور ١٢– ١٣ ديناصوران ذوا ورك شبيه بالطيري مبكران، كلاهما من جنوبي جندوانا. وككل الديناصورات الأولية كانا منتصبين سائرين على قدمين صغيري الحجم. (أ) Lesothosaurus [زاحف مملكة ليسوتو]. (ب) امتلك Heterodontosaurus [الزاحف متباين الأسنان] أسنانًا على طول الفك متنوعة بدرجة كبيرة في الحجم والشكل والوظيفة المفترضة. كان طول جمجمته حوالي ١٠ سم (٤ بوصات).

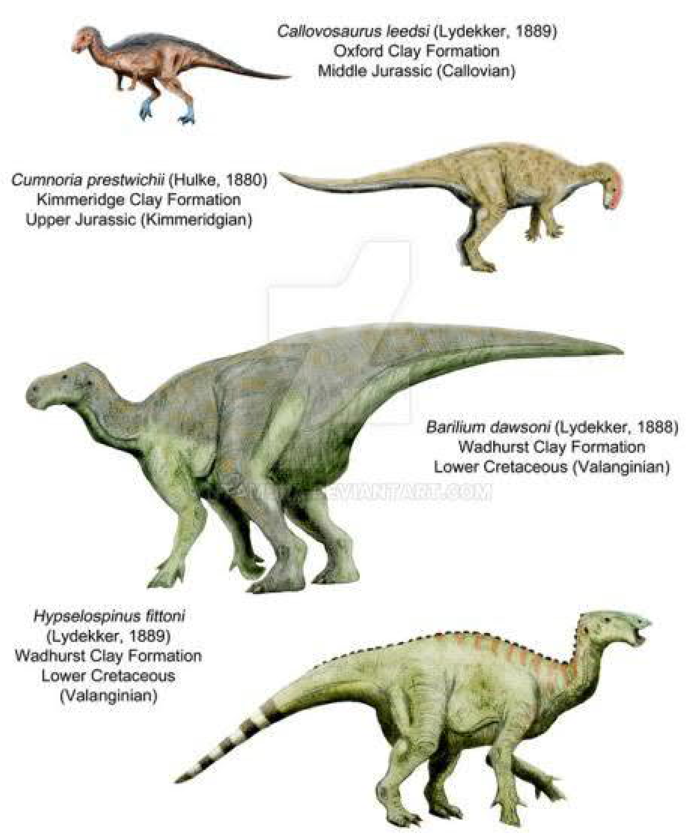
كانت أبكر الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري ذوات أطوال أقل من متر، لكنها سرعان ما ازدادت في الوزن بدرجة كبيرة. إن أحد المواضيع العامة الخاصة بتطور الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بالطيرية هو الظهور المتعاقب لمجموعات تطورت بطرق مختلفة نحو حجم ٥ إلى ٦ أطنان وهو الحجم الذي يبدو أنه كان حد الوزن لمعظم آكلات النباتات البريّة. حتى عند ذلك الحجم الضخم، ظلت الكثير من الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بالطيرية سائرةً على قدمين. فيما مشت أخرى على الأرجح على أرجلها الأربعة معظم الوقت لكنها رفعت نفسها على الطرفين الخلفيين للجري أو الارتعاء على النباتات العالية (كالماعز وظباء الجرنوق [وتعني بالصومالية ذو رأس الزرافة أو الغزال الزرافي لطول رقبته gerenuks] في العصر الحالي) (انظر الصور ١٢– ١٤).

طورت ذوات الأرجل الشبيهة بالطيرية صفوفًا كبيرة من الأسنان، وتعديلات مستحدَثة مطوَّرة للفكين ودعامات الفك مكَّنتها من القيام بحركات مضغ معقدة. كانت الديناصورات ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان سحلية الإجوانا Iguanodonts على وجه الخصوص وفيرة الأعداد في العصر الطباشيري المبكر، ووصلت لطول ٩ أمتار أفقيًا وكان طولها من الأرض إلى الرأس عموديًّا ٥ أمتار. لقد حصدت وقصَّت النباتات بمناقير قوية قبل أن تطحنها. حلت الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بالخاص بالبطة hadrosaurs المتنوعة إيكولُجِيًّا (الصور ١٢– ١٤ و١٢– ١٥) [تذكر مراجع أنها فرع مشتق متطور من ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان سحلية الإجوانا] في العصر الطباشيري الوسيط والمتأخر محلَّ معظم الديناصورات ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان سحلية الإجوانا Iguanodonts. كانت الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بالخاص بالبطة hadrosaurs بنفس حجم وتخطيط جسد الديناصورات ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان سحلية الإجوانا Iguanodonts، لكنها امتلكت صفوف أسنان ضخمة، مع مئات الأسنان الاحتياطية لاستعمالها في أي وقت.

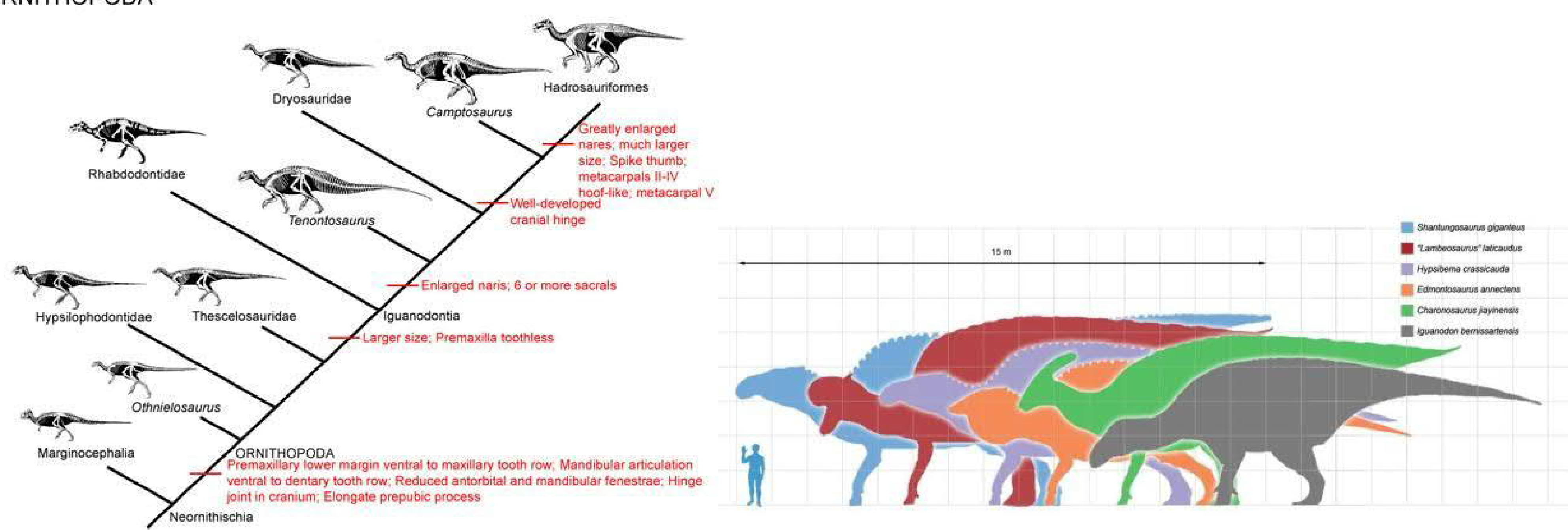
كانت الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischians الأخرى سائرة على أربع على نحو غالب، لكنها كانت تكشف عن سلفها السائر على قدمين ذي الأرجل الشبيهة بالطيرية ornithopod برجليها الخلفيتين اللتين كانتا في العادة أطول وأقوى من طرفيها الخلفيين. كانت الديناصورات النباتية المغطاة بالأشواك الصفيحية العظمية على ظهرها Stegosaurs (الصورة ١٢– ١٦)_ بصفحاتها المميزة المتموضعة على طول عمودها الفقري_ هي الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischians السائرة على أربع أقدام الرئيسية السائدة في العصر الجوارسي، لكنها حلت محلها في العصر الطباشيري المبكر والوسيط الديناصوراتُ ذوات العظام المدموجة Ankylosauridae or ankylosaurs المدرَّعة (الصور ١٢– ١٧). لاحقًا في العصر الطباشيري، كانت الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischians وفيرة الأعداد ومتنوعة على وجه الخصوص في أنماطها الجسدية. عاشت الكثير من الأشكال السائرة على أربع بجوار الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بالبطة hadrosaurs، ومنها الديناصورات النباتية القرناء (الصور ١٢– ١٨).

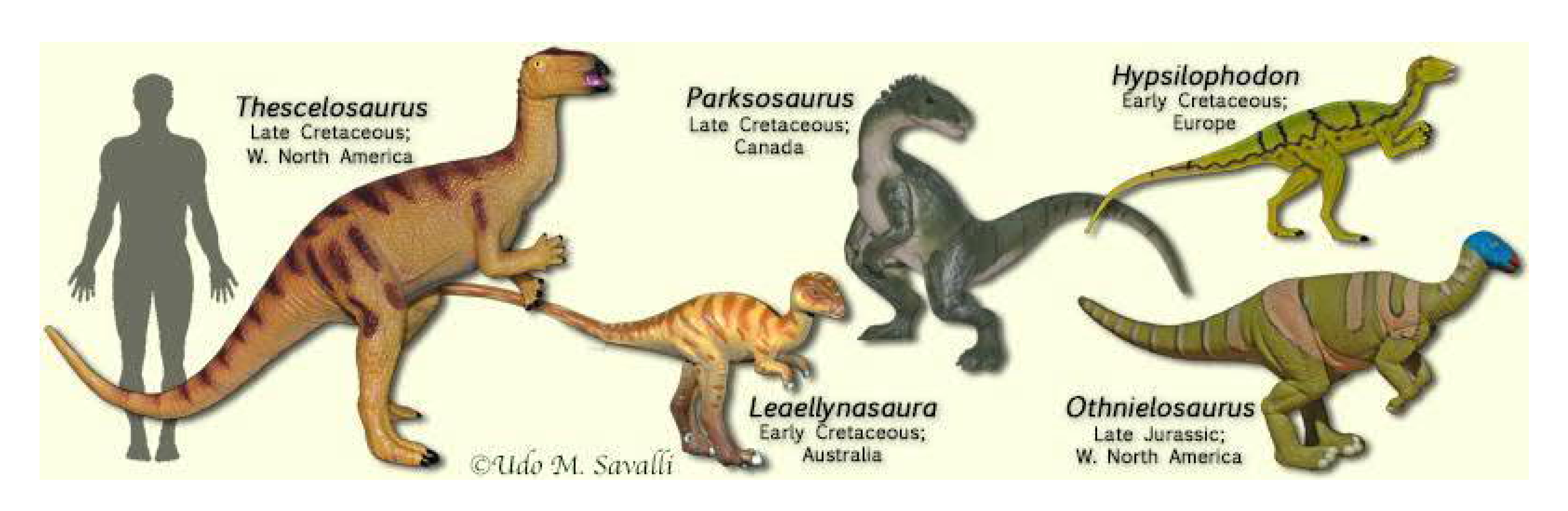






ORNITHOPODA

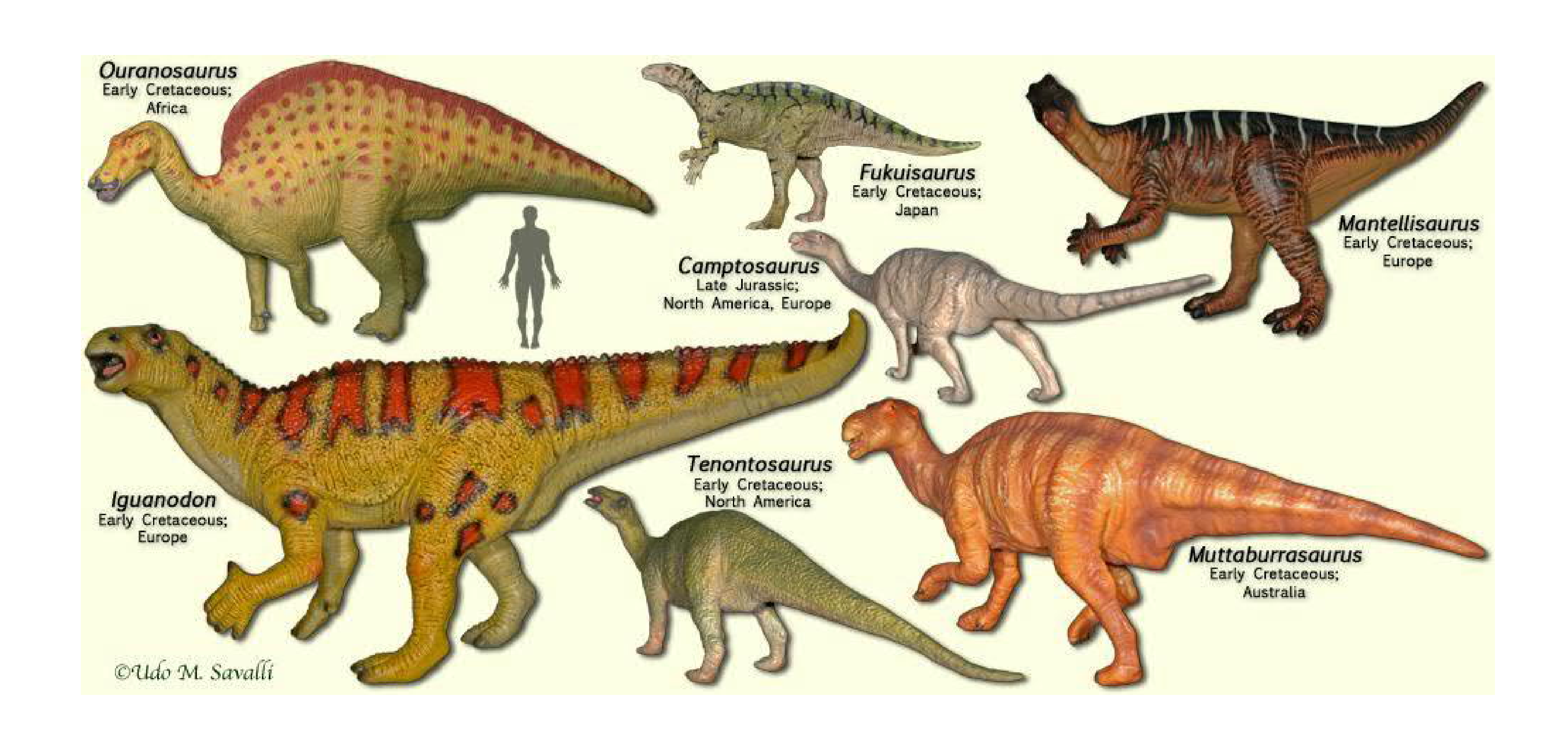


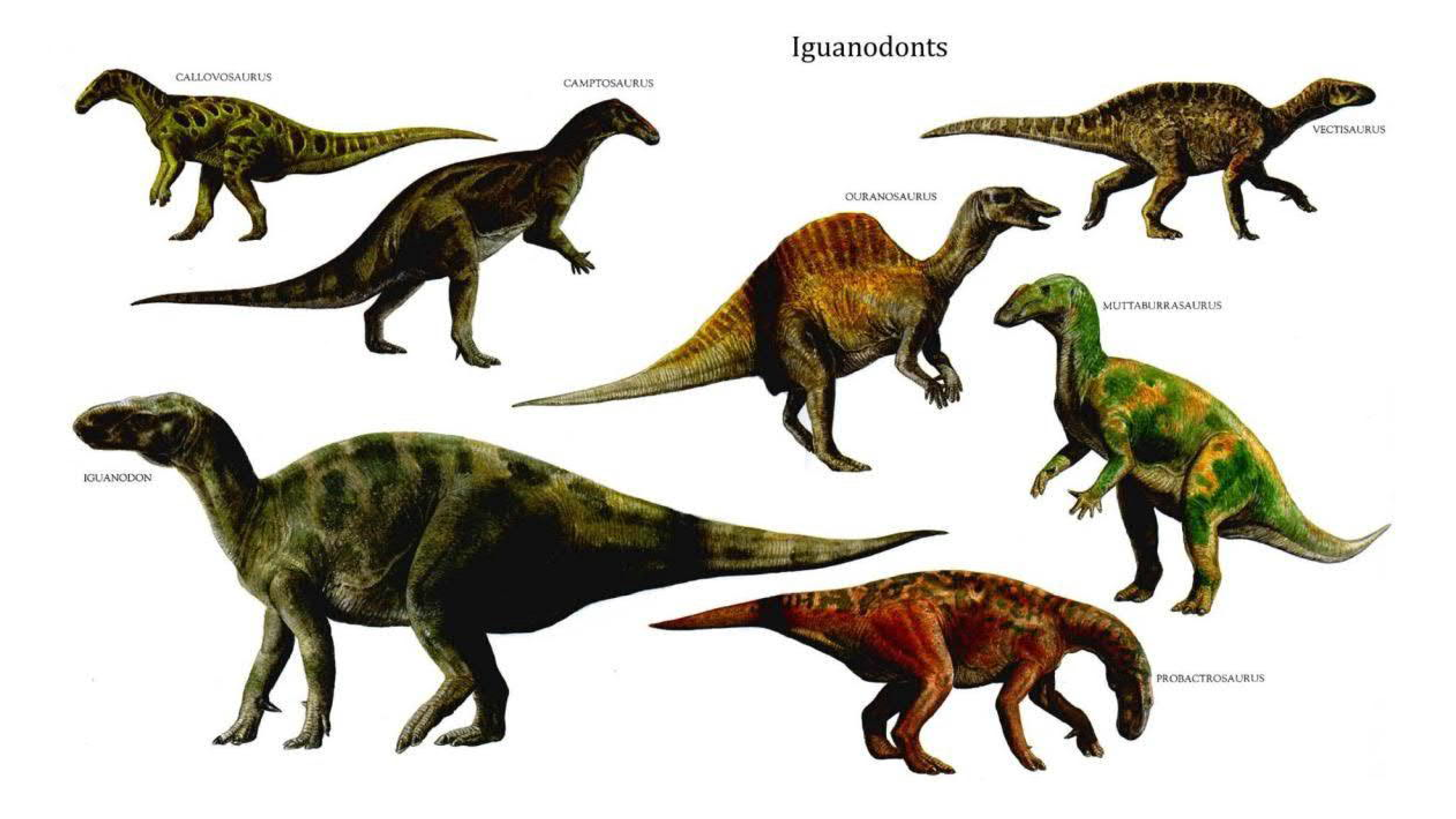




Thescelosaurus

Ornithopods فصيلة الديناصورات النباتية ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل الطيور، حيث تعني كلمة الأورنيثوبودا "قدم الطائر"، وهي مُشتقة من الكلمتين الإغريقيتين "أورنيثوس" التي تعني "طائر" و"بود" التي تعني "قدم"، وقد أطلق على مَجموعة الأورنيثوبودا هذا الاسم نسبة إلى أقدامها التي تمتاز بامتلاكها لثلاث أصابع، وذلك مع أن العديد من الأورنيثوبودات المُبكرة حافظت على أصابعها الأربعة. بعضها سار على قدمين والبعض تطور باتجاه السير على أربع أقدام. أورنيثوبودات)أو حسب نطقها الأصلي "الأورنيثوبَد") هيَ أنواع فرع الأورنيثوبودا الذي يُمثل مَجموعة من الديناصورات طيرية الورك .كانت هذه الحيوانات في بداية نشأتها راعيات نبات صغيرة وسريعة ثنائية الحركة، لكنها لاحقاً نمت في حجمها وأعدادها لتصبح واحدة من أنجح مَجموعات الحيوانات النباتية في العصر الطباشيري والمُسيطرة في أراضي قارة أمريكا الشمالية .كانت ميزة الأورنيثوبودات التطورية الرئيسية هي تطور وتكيف جهازها الهضميّ إلى حد كبير حتى أصبح من أعقد أجهزة الزواحف الهضمية على الإطلاق، وذلك لدرجة أنه يُنافس في تطوره أجهزة الثدييات الحديثة مثل أبقار المَزارع. وصلت هذه المجموعة إلى قمة ازدهارها في عهد الديناصورات بطية المنقار، وذلك قبل أن يَنتهي أمرها في انقراض العصر الطباشيري–الثلاثي مع جميع الديناصورات الأخرى. وقد عاشت الأورنيثوبودات قبل أنقراضها في جميع القارات السبع، بالرغم من أنها نادرة عموماً في نصف الأرض الجنوبي وأنواعها التي قطنت أنتاركتيكا لا زالت غير مُسماة بعد. امتازت الأورنيثوبودات بأصابع أقدامها الثلاثية التي استمدت منها المَجموعة اسمها (كما ذكر سابقاً)، وهي تمتاز أيضاً بعدم امتلاكها لأي درع دفاعي طبيعي، كما أنها تملك بعض الأجزاء المُميزة الأخرى مثل منقارها الصلب وعظم عانتها الذي امتد في النهاية إلى جوار عظم الإيليوم والثقب الغريب الذي يَتخلل فكها السفلي .كانت تملك الأورنيثوبودات وأقاربها من السيرابودات صفائحاً غضروفية رقيقة تنتشر على الجانب الخارجي من الأضلاع، وفي بعض الحالات كانت هذه الصفائح تتمعدن ثم تتحجر. لكن مع ذلك فإن وظيفة هذه الصفائح في الجسم لا تزال غير مَعروفة، وقد عُثرَ عليها في بقايا أورنيثوبودات : هيبزيلوفودون وأوثنييلوصور وباركسوصور وتالنكاوين وثيسكيلوصور وماكروغريفوصور. بَلغ طول الأورنيثوبودات الأولى حوالي مترٍ واحد فقط، لكنها ربما كانت سريعة جداً. وامتلكت هذه الديناصورات آنذاك ذيلاً صُلباً – مثل الثيروبودات (الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين) –لكي يُساعدها على مُوازنة أجسامها أثناء ركضها على ساقيها الخلفيتين .أما الأورنيثوبودات المتأخرة التي تطورت لاحقاً فقد أصبحت مُتكيفة أكثر للرعي على أربع، فقد أصبح عمودها الفقري مُنحنياً بحيث يُشبه أعمدة حيوانات الرعي الفقرية الحديثة مثل البيسون .لكن مع هذا فبعد ذلك عندما تكيفت الأورنيثوبودات أكثر للأكل وهي مُتيقظة لأعدائها أصبحت حركتها نصف رباعية، فقد ظلت قادرة على الركض على ساقين وعلى تسلق الأشجار لكنها أصبحت تقضي مُعظم وقتها وهيَ تمشي وترعى على أربع. أصبحت الأورنيثوبودات المتأخرة التي أتت بعد ذلك أكبر حجماً، لكنها لم تنافس أبداً الحجم المُذهل الذي وصلت إليه الصوربودات طويلة الأعناق التي حلت محل الأورنيثوبودات إلى حد ما. فالديناصورات الأضخم بين الأورنيثوبودات على الإطلاق مثل الشانتونغوصور كانت بوزن صوربود مُتوسط الحجم بوزنها الذي بلغ ٢٣ طناً، بينما لم تستطع أبداً النمو لأكثر من ١٥ متراً.

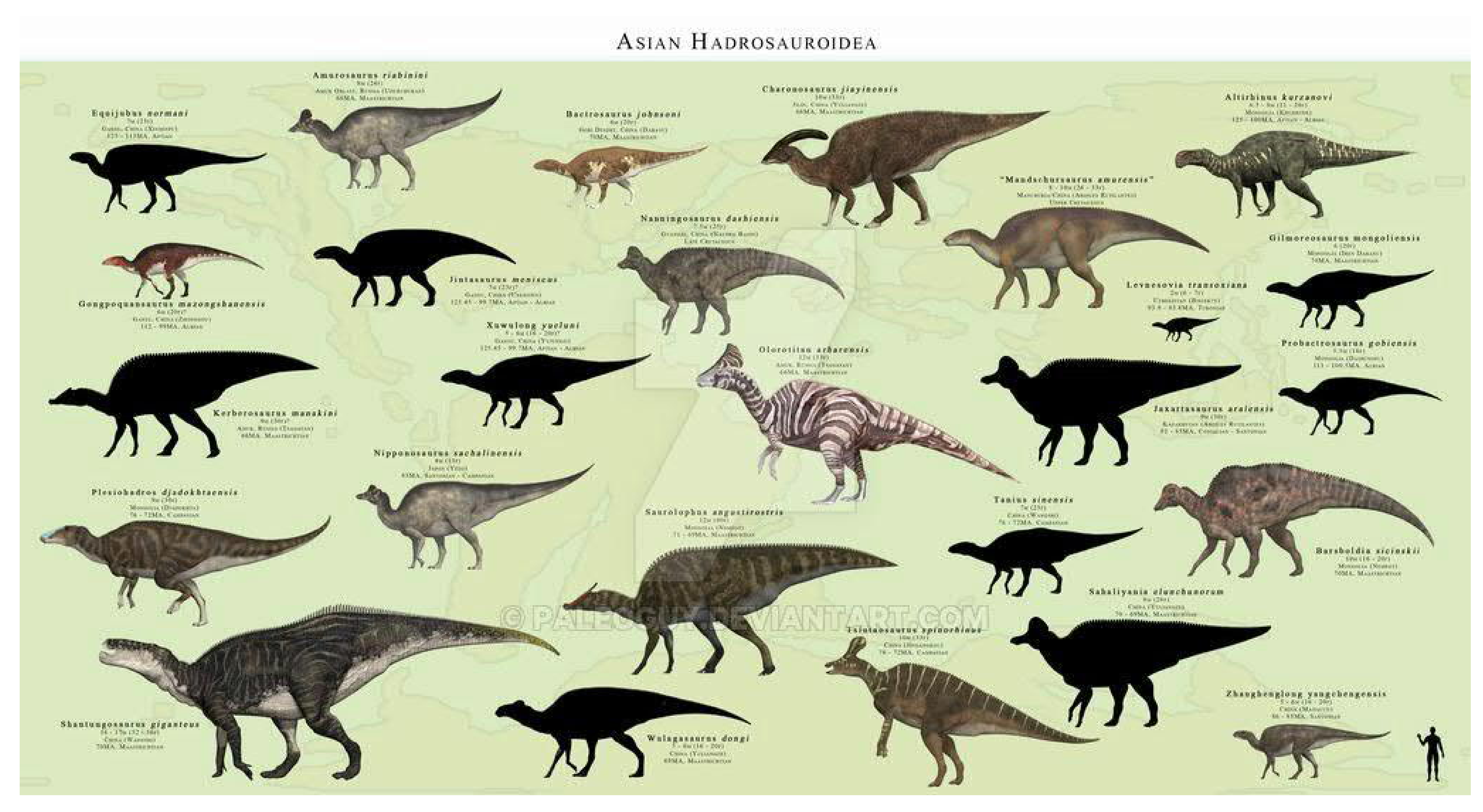


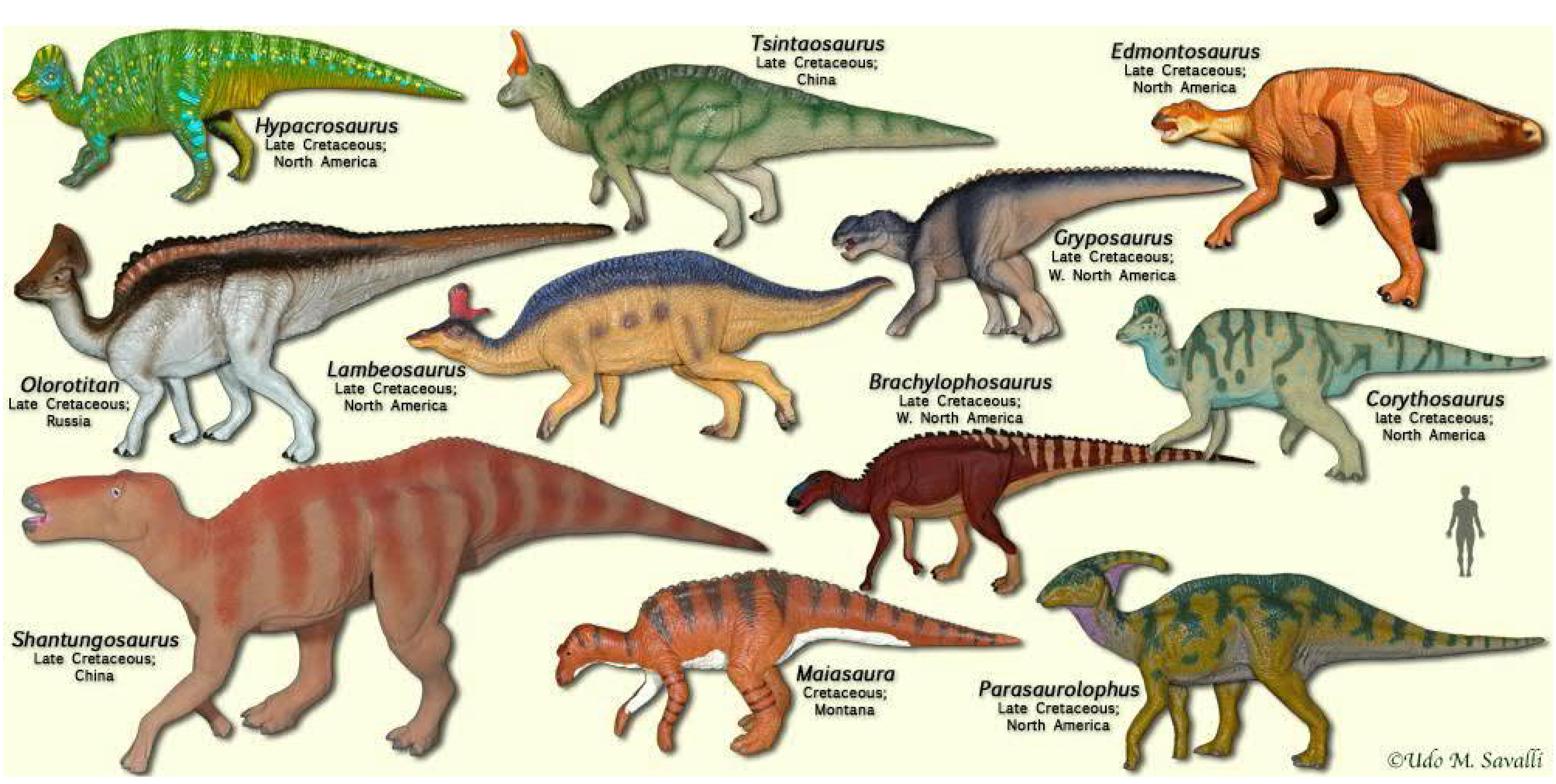


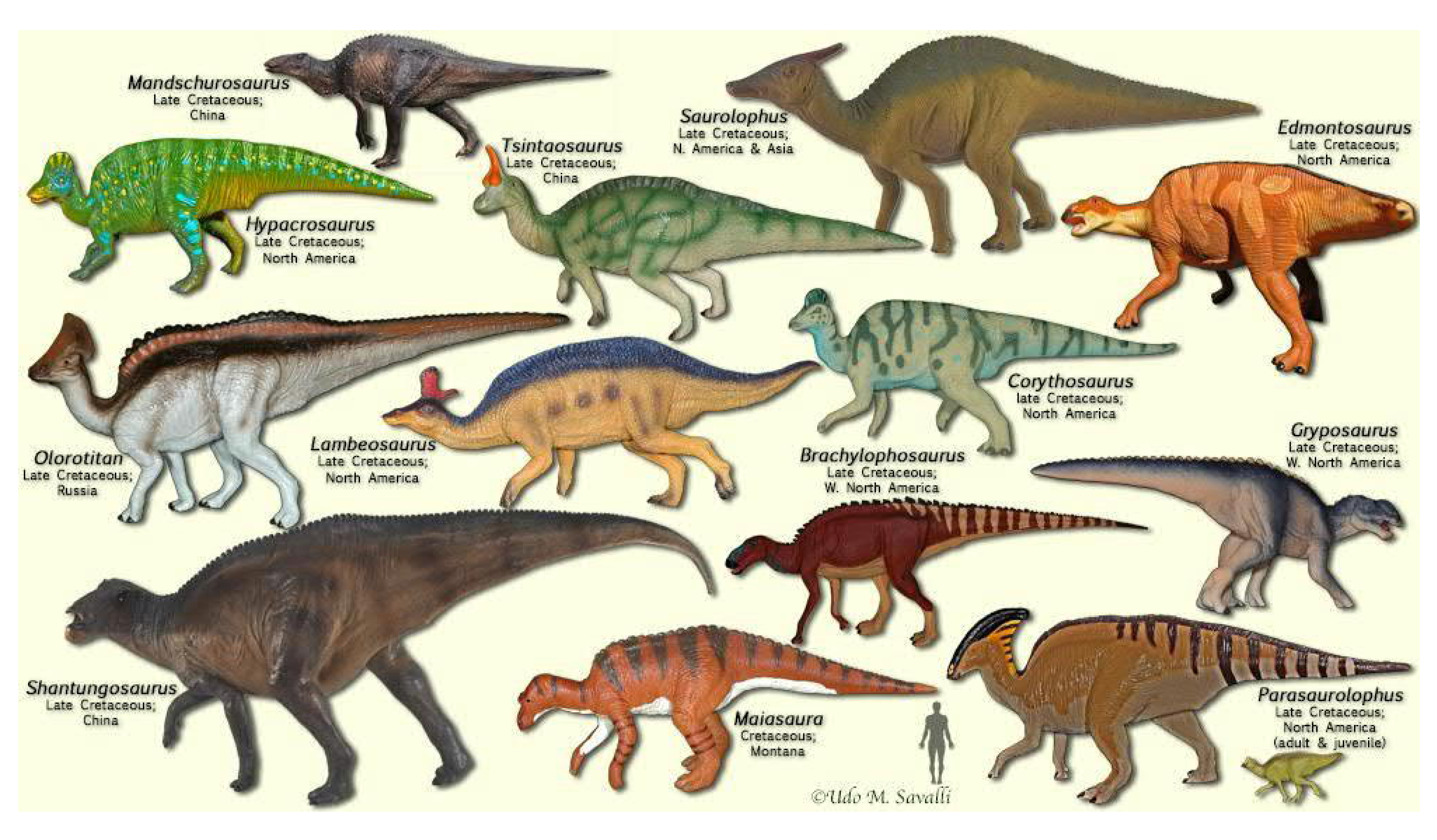


Probactrosaurus adult (AMNH[3]) بالغ وطفل من العصر الطباشيري المبكر في الصين

Iguanodonts فصيلة ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان سحلية الإجوانا، فرع تطوري من الديناصورات النباتية من رتيبة ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل الطيور وعاشت من العصر الجوارسي الوسيط إلى العصر الطباشيري المتأخر. تتضمن الأجناس والفصائل الفرعية: Camptosaurus [الديناصور مرن الجسم نسبيًا] و Callovosaurus [زاحف العصر الكالوفي من العصر الجوارسي الوسيط]و Iguanodon و Tenontosaurus [الديناصور ذو الأوتار القوية في ظهره وذيله] و hadrosaurids، وتُعرَف الهاردروسورات كذلك بالديناصورات ذوات المنقار الشبيه بالخاص بالبطة، كانت إحدى أول مجموعات الديناصورات وجودًا. وكانت من أكثر مجموعات الديناصورات النباتية تنوعًا في العصر الطباشيري. كانت إجاونيات الأسنان المتطورة المشتقة الصفات مثل Muttaburrasaurus [زاحف Muttaburra في أستراليا بكوينزلاند] والكثير من الـ ankylopollexians [ذوات الإبهام مخروطي الشكل القوي] عامةً حيوانات كبيرة الأحجام، ووصل بعضها مثل Shantungosaurus إلى طول يصب لإبلا ١٥ مترًا ووزن يصل إلى ٨ أطنان، مساويةً في الحجم لأكبر الديناصورات اللاحمة المفترسة.

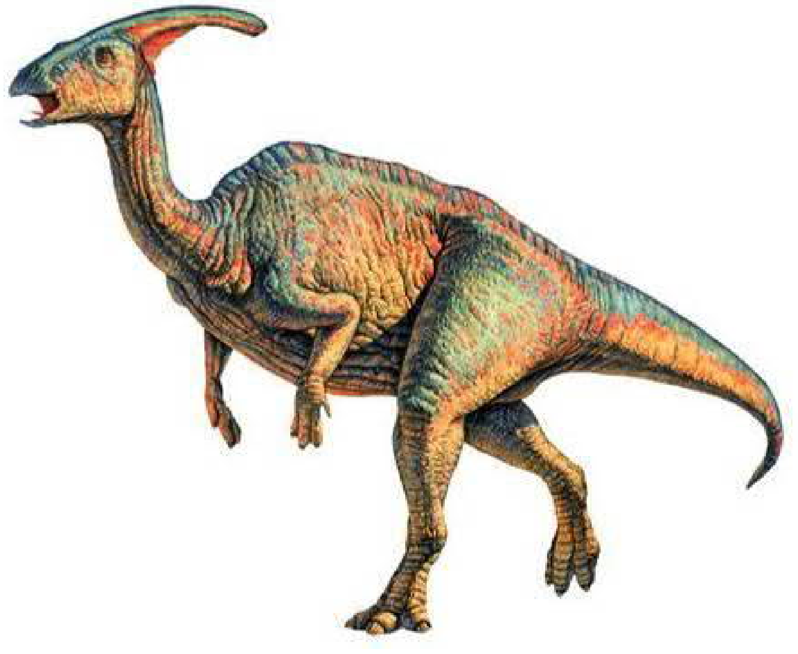

Asian Hadrosauroidea
Amurosaurus riabinini
Bactrosaurus johnsoni
Charonosaurus jiayinensis
Altirhinus kurzanovi
"Mandschurosaurus amurensis"
Gilmoreosaurus mongoliensis
Nanningosaurus dashiensis
Jintasaurus meniscus
Levnesovia transoxiana
Xuwulong yueluni
Olorotitan arharensis
Probactrosaurus gobiensis
Kerberosaurus manakini
Jaxartosaurus aralensis
Nipponosaurus sachalinensis
Tanius sinensis
Saurolophus angustirostris
Barsboldia sicinskii
Sahaliyania elunchunorum
Tsintaosaurus spinorhinus
Shantungosaurus giganteus
Wulagasaurus dongi

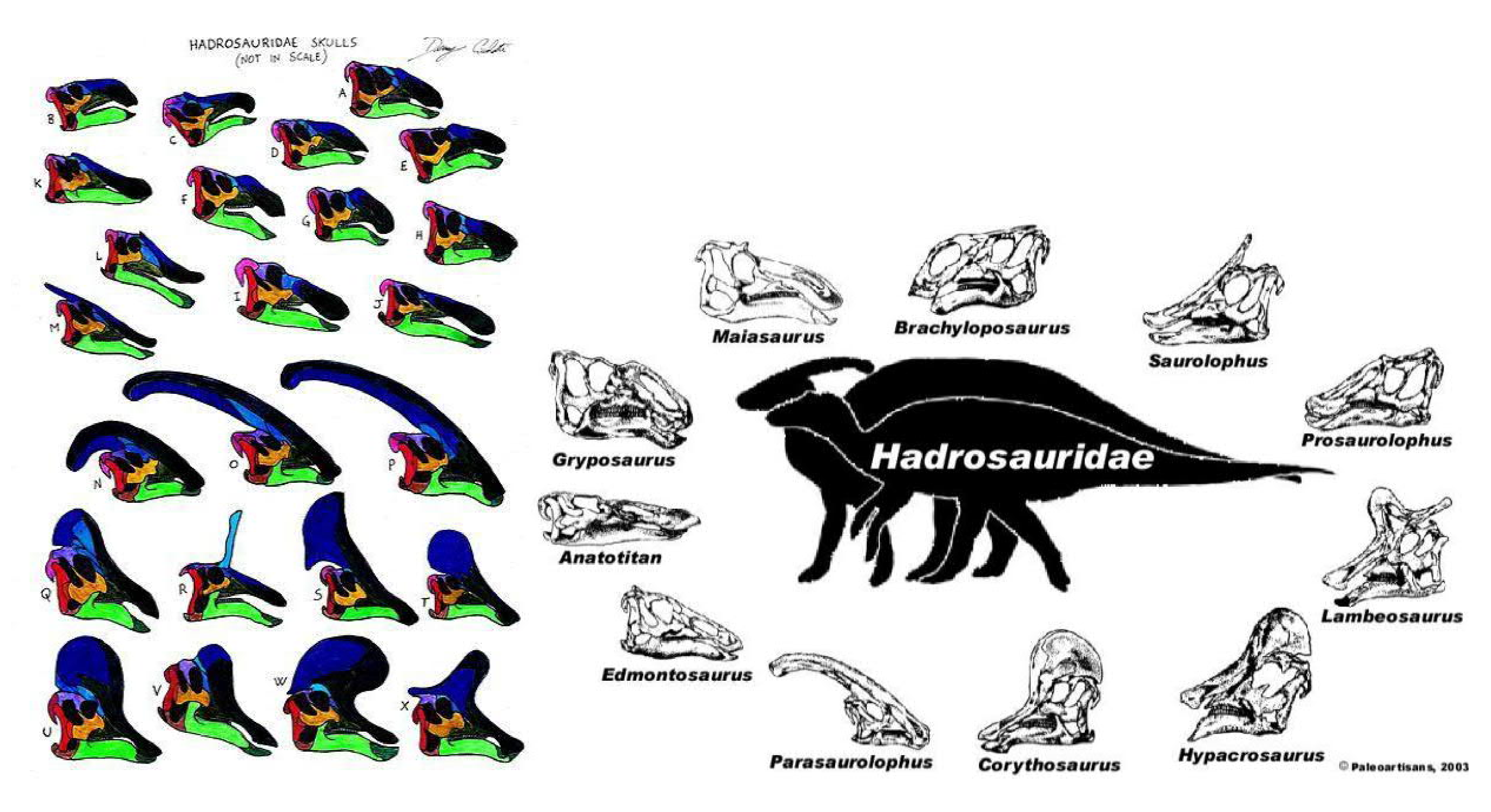

Hypacrosaurus
Late Cretaceous;
North America
Tsintaosaurus
Late Cretaceous;
China
Edmontosaurus
Late Cretaceous;
North America
Gryposaurus
Late Cretaceous;
W. North America
Olorotitan
Late Cretaceous;
Russia
Lambeosaurus
Late Cretaceous;
North America
Brachylophosaurus
Late Cretaceous;
W. North America
Corythosaurus
late Cretaceous;
North America
Shantungosaurus
Late Cretaceous;
China
Maiasaura
Cretaceous;
Montana
Parasaurolophus
Late Cretaceous;
North America
©Udo M. Savalli

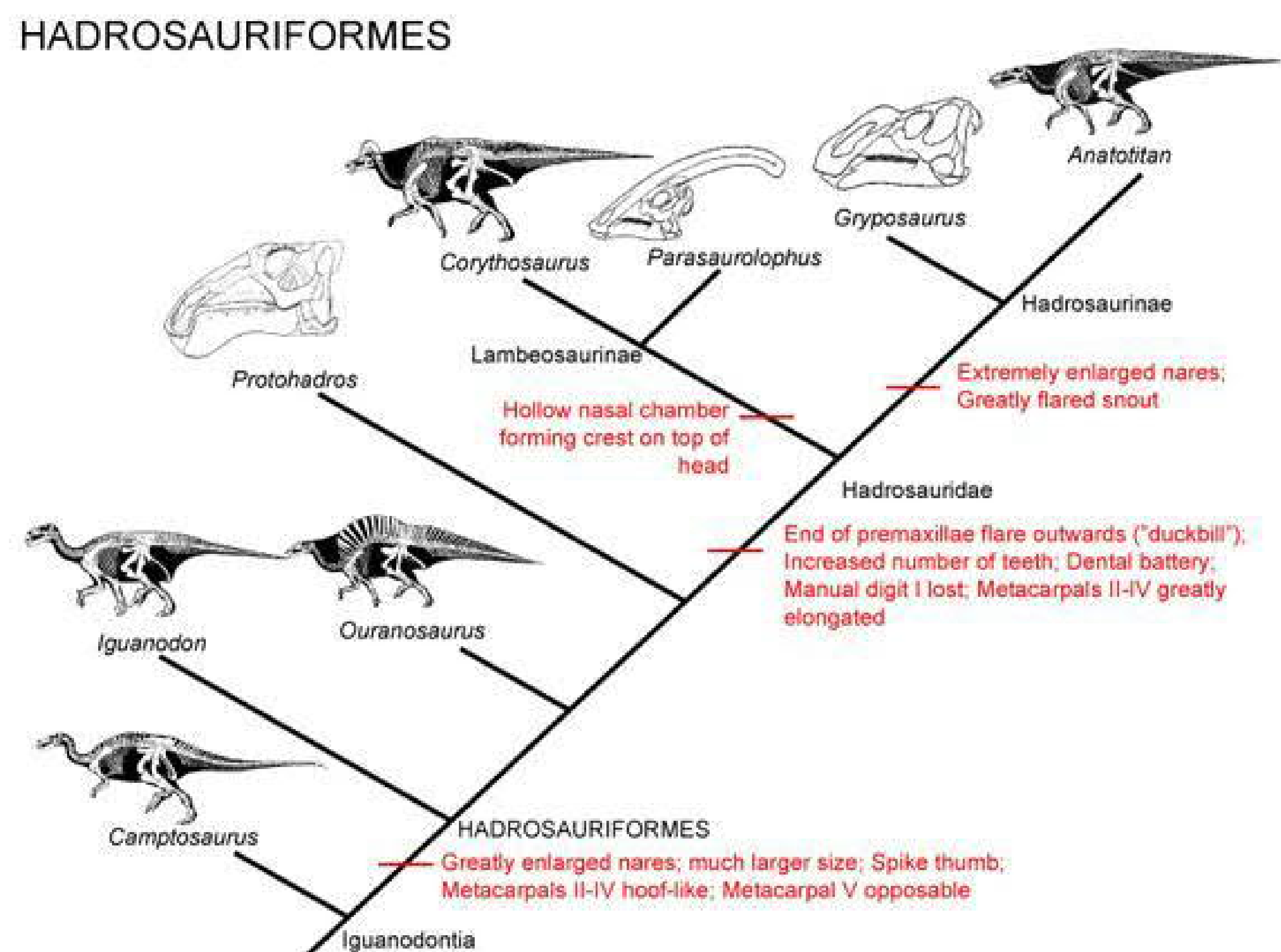

Mandschurosaurus
Late Cretaceous;
China
Saurolophus
Late Cretaceous;
N. America & Asia
Edmontosaurus
Late Cretaceous;
North America
Tsintaosaurus
Late Cretaceous;
China
Hypacrosaurus
Late Cretaceous;
North America
Corythosaurus
late Cretaceous;
North America
Olorotitan
Late Cretaceous;
Russia
Lambeosaurus
Late Cretaceous;
North America
Brachylophosaurus
Late Cretaceous;
W. North America
Gryposaurus
Late Cretaceous;
W. North America
Shantungosaurus
Late Cretaceous;
China
Maiasaura
Cretaceous;
Montana
Parasaurolophus
Late Cretaceous;
North America
(adult & juvenile)
©Udo M. Savalli




alamy stock photo




HADROSAURIDAE SKULLS
(NOT IN SCALE)
Maiasaurus
Brachylophosaurus
Saurolophus
Gryposaurus
Hadrosauridae
Prosaurolophus
Anatotitan
Lambeosaurus
Edmontosaurus
Parasaurolophus
Corythosaurus
Hypacrosaurus
© Paleoartisans, 2003

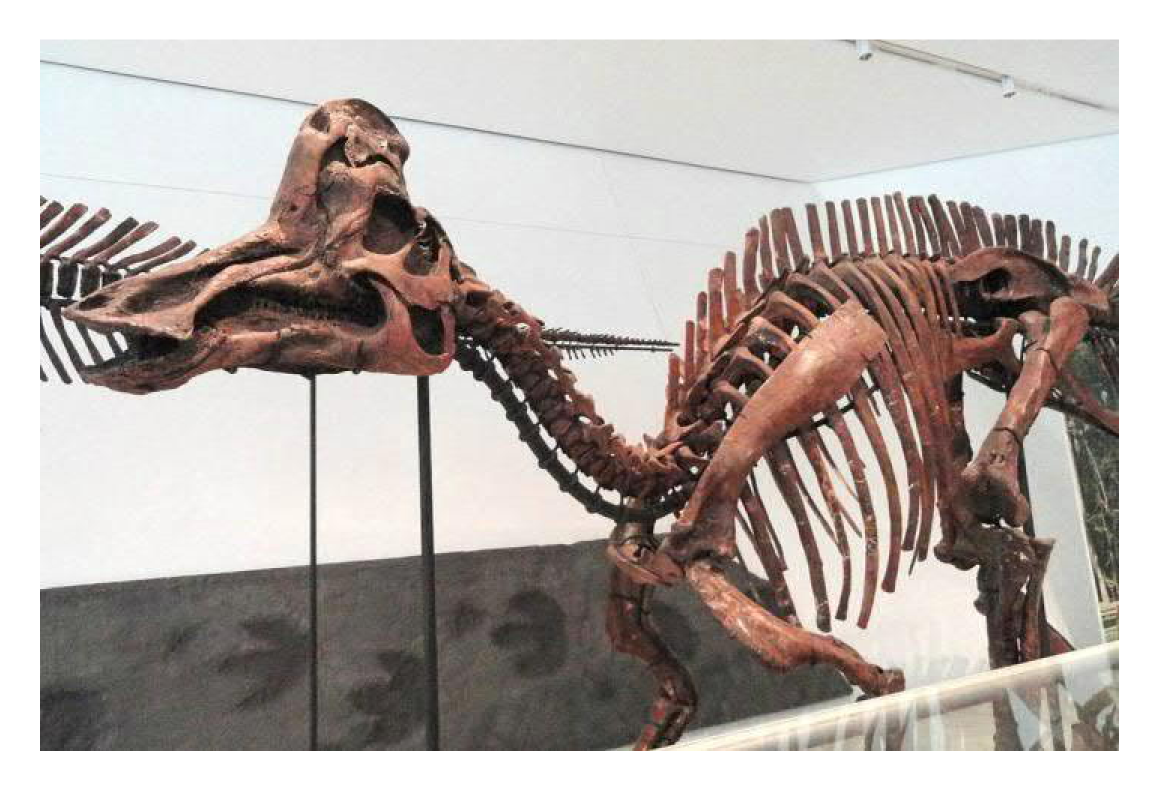

HADROSAURIFORMES
Anatotitan
Gryposaurus
Corythosaurus
Parasaurolophus
Hadrosaurinae
Lambeosaurinae
Protohadros
Extremely enlarged nares;
Greatly flared snout
Hollow nasal chamber
forming crest on top of
head
Hadrosauridae
End of premaxillae flare outwards ("duckbill");
Increased number of teeth; Dental battery;
Manual digit I lost; Metacarpals II-IV greatly
elongated
Iguanodon
Ouranosaurus
Camptosaurus
HADROSAURIFORMES
Greatly enlarged nares; much larger size; Spike thumb;
Metacarpals II-IV hoof-like; Metacarpal V opposable
Iguanodontia



hadrosaurs الديناصورات النباتية ذوات المنقار الشبيه بمنقار البطة.الهادروصوريات أو بطيات المنقار)الاسم العلمي(Hadrosaurid :، وهي ديناصورات تنتمي إلى فوق فصيلة الهادروصورويات، وهي تتضمن أورنيثوبودات مثل الإدمونتوصور والباراصورولوفوس .كانت هذه الحيوانات عواشب شائعة خلال العصر الطباشيري المتأخر في آسيا وأوروبا وأمريكا الشمالية .انحدرت هذه المَجموعة من ديناصورات الجوراسي المتأخر – الطباشيري المبكر الإغوانادونية[ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان سحلية الإجوانا] ذات البنية الجسدية المُشابهة. تقسم الهادروصوريات إلى تحت فصيلتين رئيسيتين، هما اللامبيوصورات التي تملك أعرافاً جمجمية جوفاء وأحجامها أصغر نسبياً من أفراد المَجموعة الأخرى. أما الصورولوفات فهي تفتقر إلى الأعراف الجُمجمية الجوفاء (مع أن بعض أنواعها كانت تملك أعرافاً صُلبة)، وكانت عموماً أكبر من اللاميبوصورات، وقد كانت تعد في مُعظم الأعمال حتى عام ٢٠١٠ هادروصورات (الصورولوفات أو الهادروصورات). تعرف الهادروصورات ببطيات المنقار بسبب مُشابهة رؤوسها لرؤوس البط الحديث. وعند بعض الأجناس – خصوصاً الأنوتايتان – تكون الجمجمة الأمامية بكاملها مُسطحة ثم تنتفخ فجأة لتشكل منقاراً، وهو شكل مُناسب للإمساك أوراق الشجر في غابات آسيا وأوروبا وأمريكا الشمالية. لكن بالرغم من ذلك، فقد كان يَحتوي الجزء الخلفي من الفم آلاف الأسنان – بالمعنى الحرفي – القادرة على طَحن الطعام قبل ابتلاعه. وقد أُفترض أن هذا كان عاملاً أساسياً في نجاح هذه المَجموعة خلال العصر الطباشيري بالمقارنة مع الصوربودات التي كانت لا تزال تعتمد على أحجار المعدة بشكل كبير لطحن الطعام. تابع الإحاثي مارك بورنل في عام ٢٠٠٩ دراستهلطرق المضغ والتغذي عند الهادروصوريات النباتية بطية المنقار التي عاشت خلال العصر الطباشيري المتأخر .وبتحليل مئات الخدوش المايكروسكوبية على أسنان فك إدمونتوصور متحجر، استطاع الفريق تحديد الطريقة الفريدة التي تملكها الهادروصورات في التغذي التي لا تشبه ما يُوجد عند أي مخلوق حي اليوم. وبالمقارنة مع مفصل الفك السفلي المرن السائد بين الثدييات الحديثة، فالهادروصورات تملك فكوكاً فريدة تقع بين فكها العلوي وباقي جُمجمتها. وقد وَجد الفريق أن الفك العلوي عند هذه الديناصورات يَنتؤ باتجاه خارج الجُمجمة بينما يَنزلق الفك السفلي تحت الأسنان العلوية أثناء مضغ الحيوان للطعام.





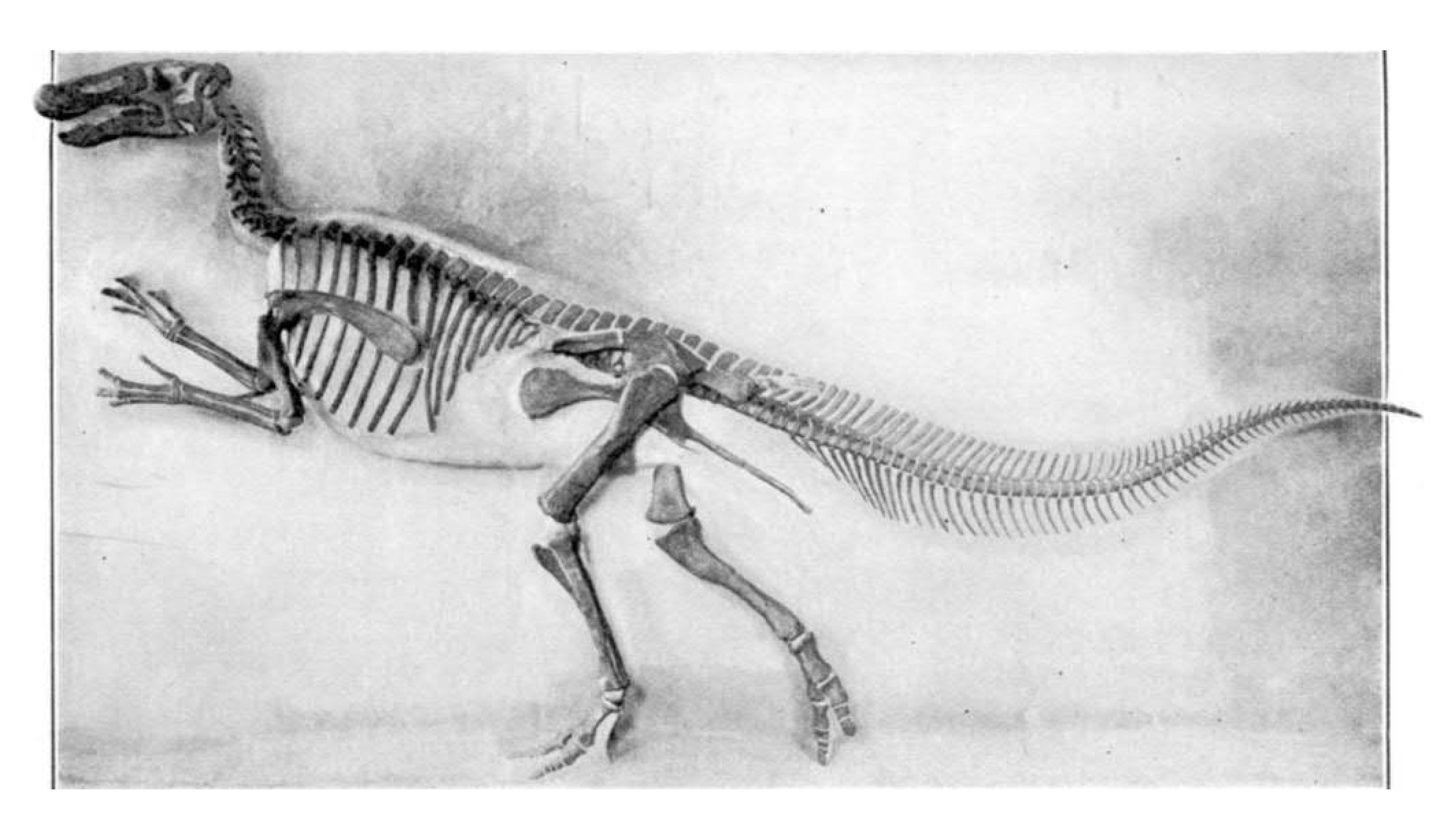




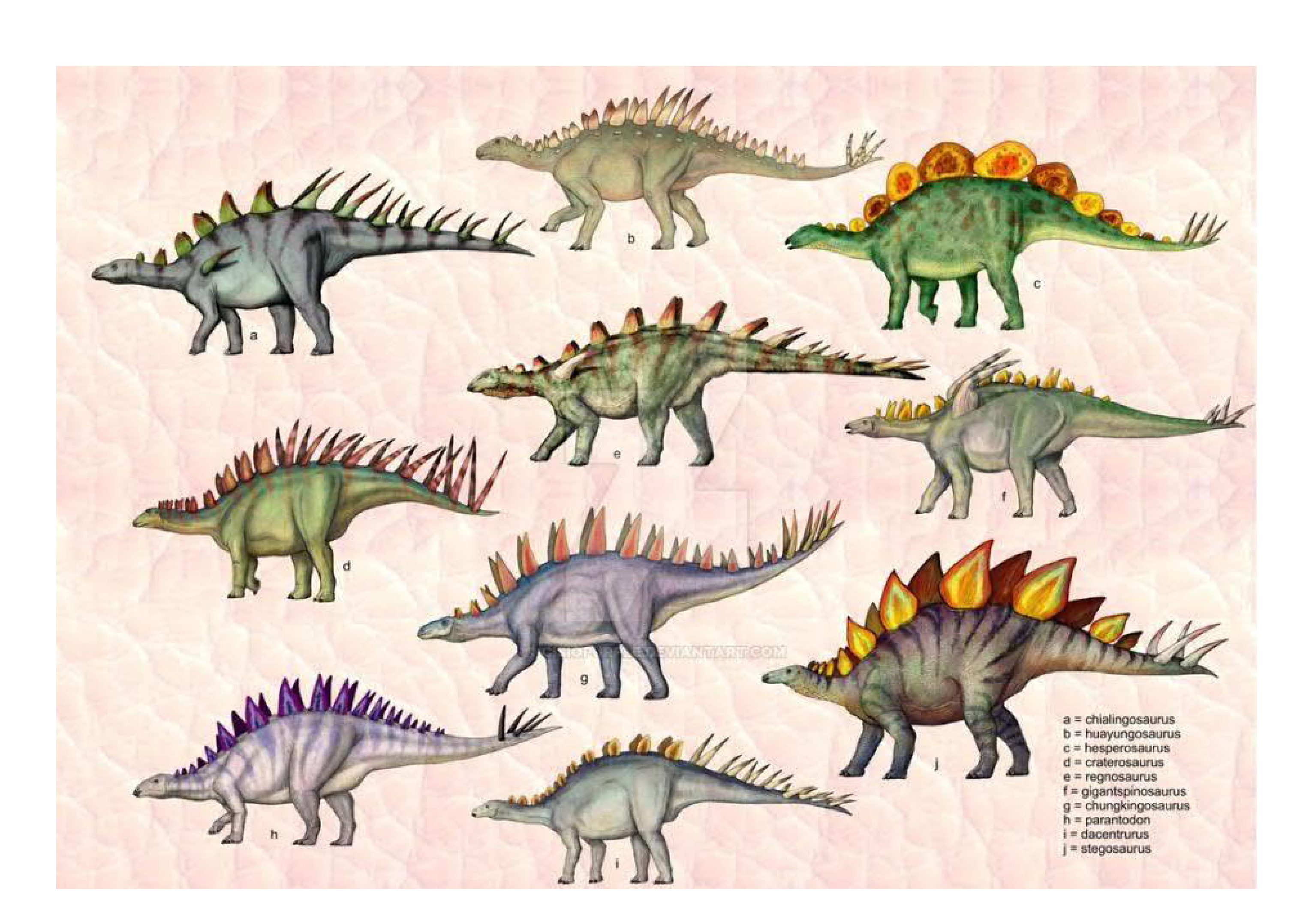


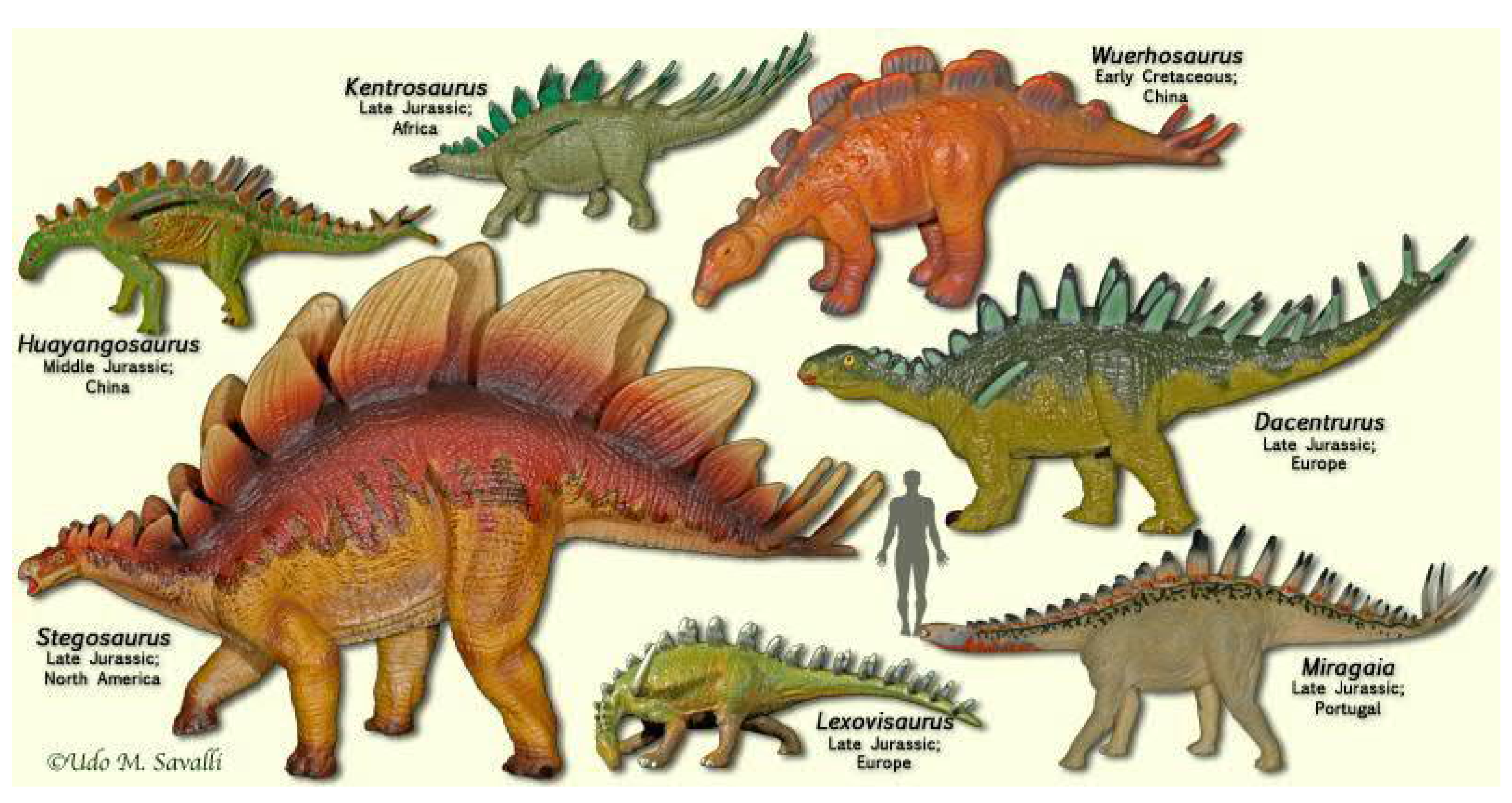
الصورة ١٢– ٤ Corythosaurus [يعني اسمه الزاحف ذو الخوذة]، وهو نوع من الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بالخاص بالبطة hadrosaur ، من الديناصورات النباتية ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل الطيور المتقدمة، وتظهر في الصورة قدرته على الوقوف على رجليه الخلفيتين للوصول إلى النباتات العالية.

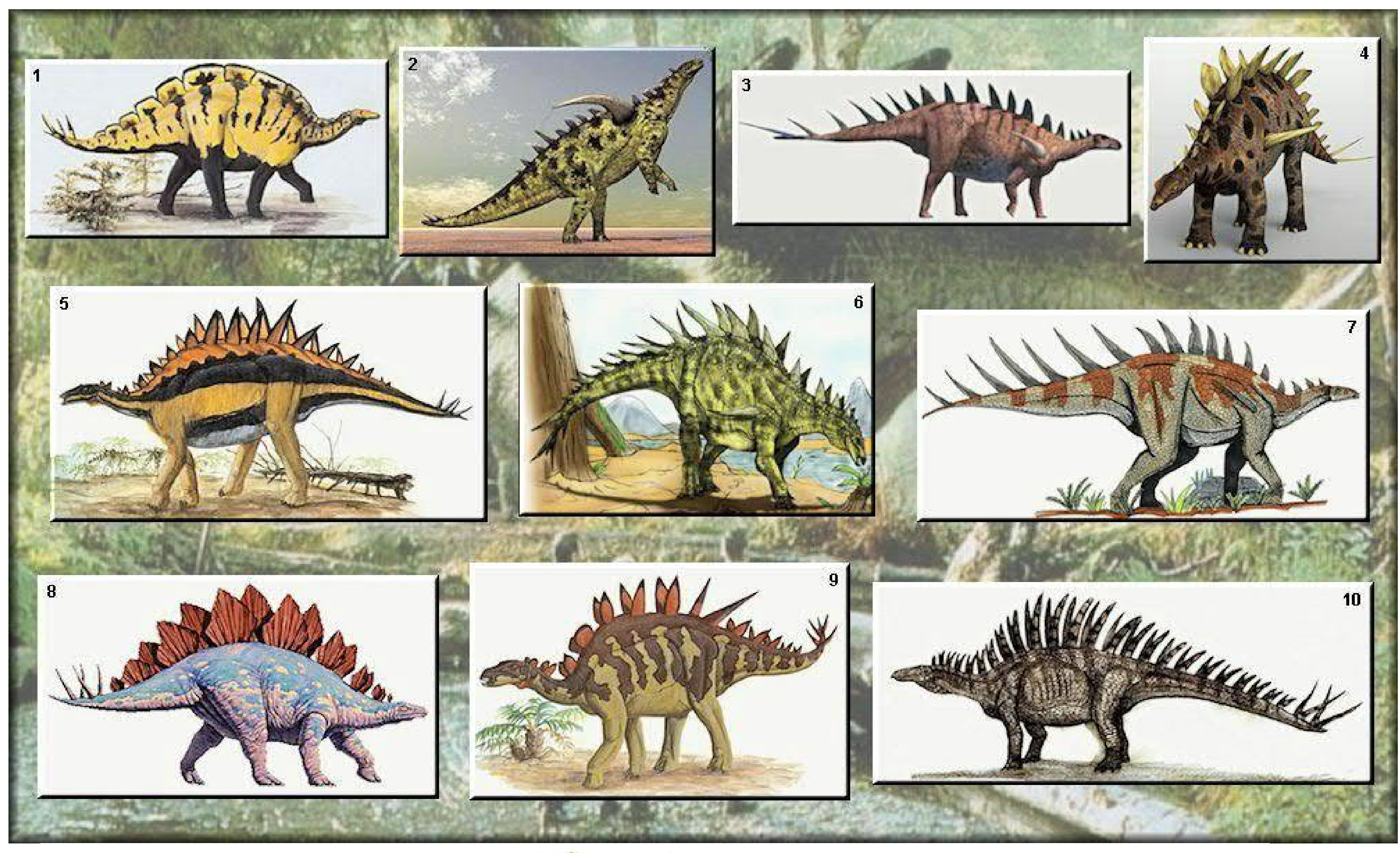


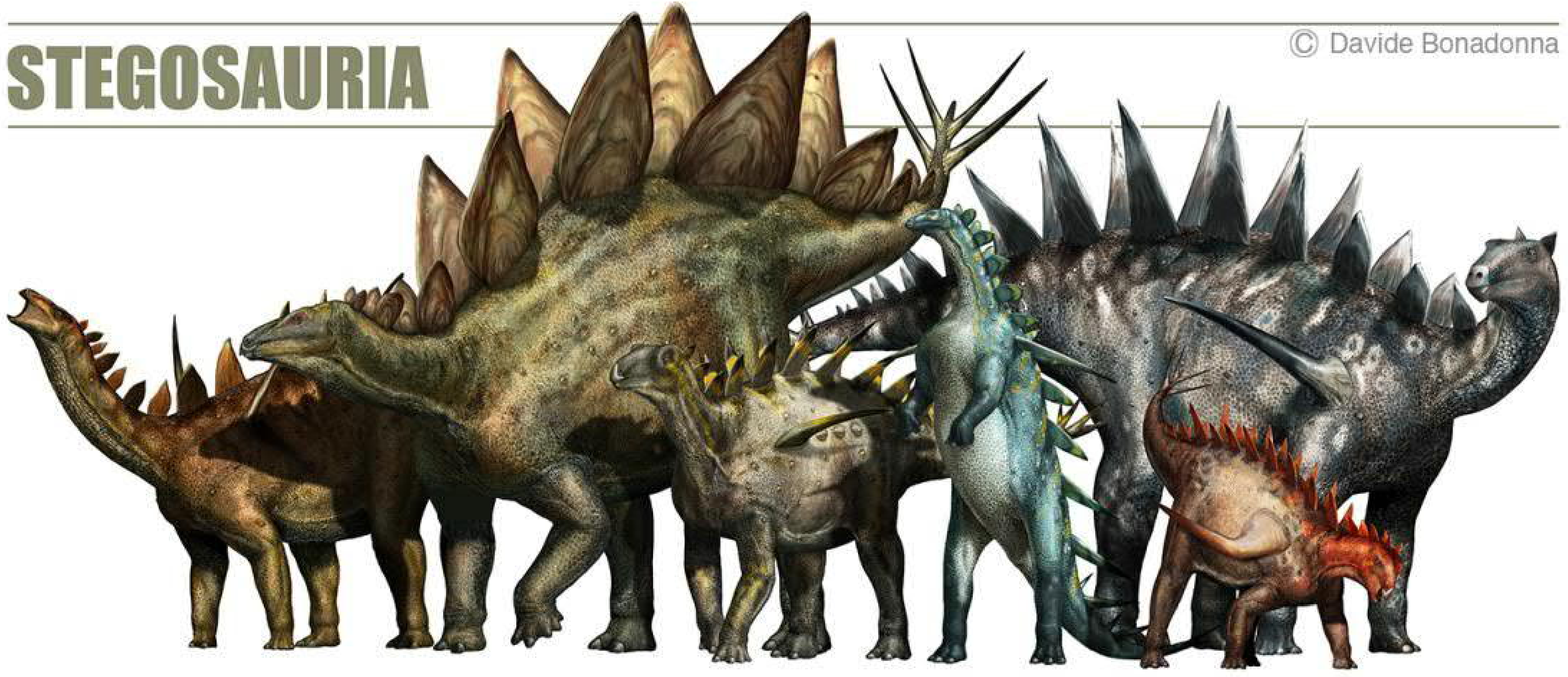


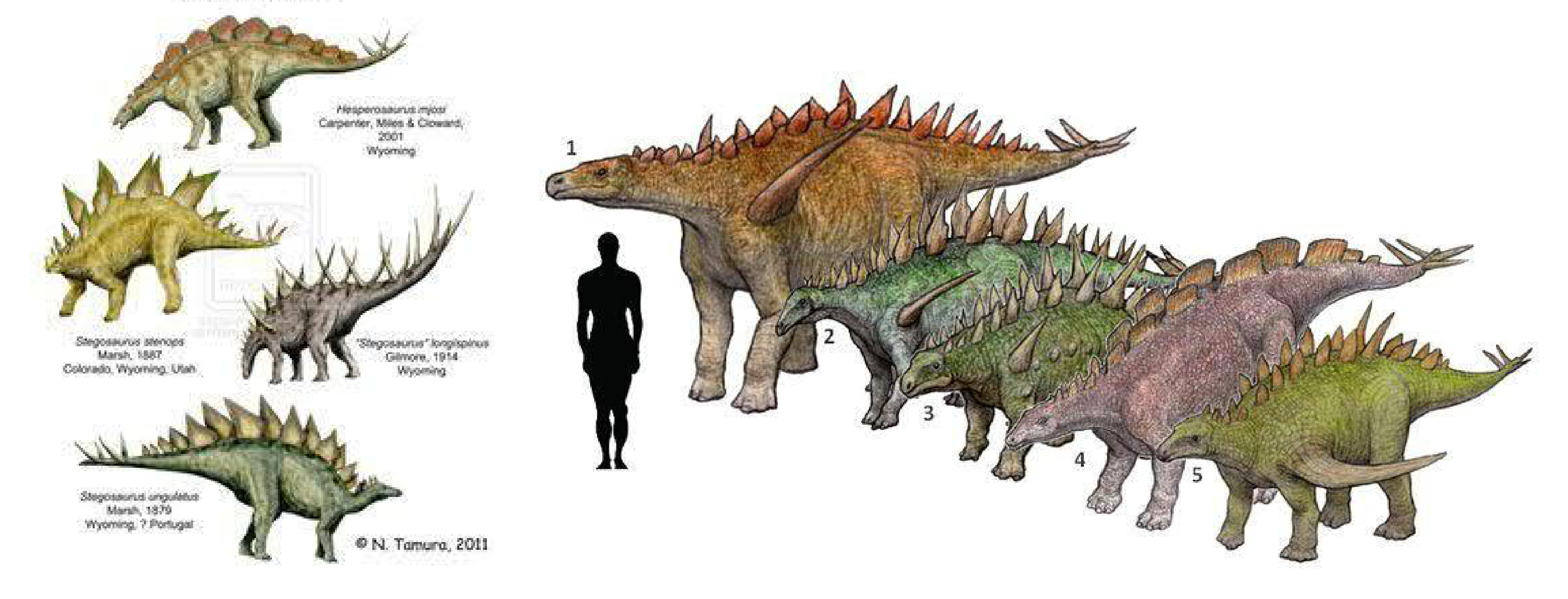
الهيكل العظمي المتحجر للديناصور منقاري البطة Edmontosaurus [زاحف طبقة Edmonton الجيولُجية]، ساعدت الأوتار المتعظمة في ذيله على إبقاء ذيله صلبًا فوق عظم الحوض.

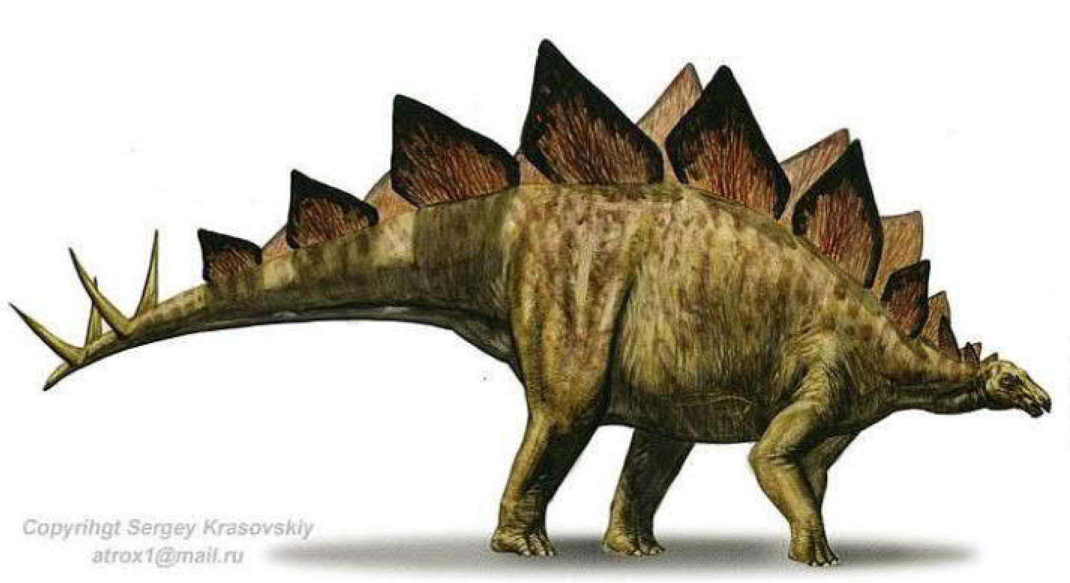





1
2
3
4
5
6
7
8
9
10


STEGOSAURIA
© Davide Bonadonna

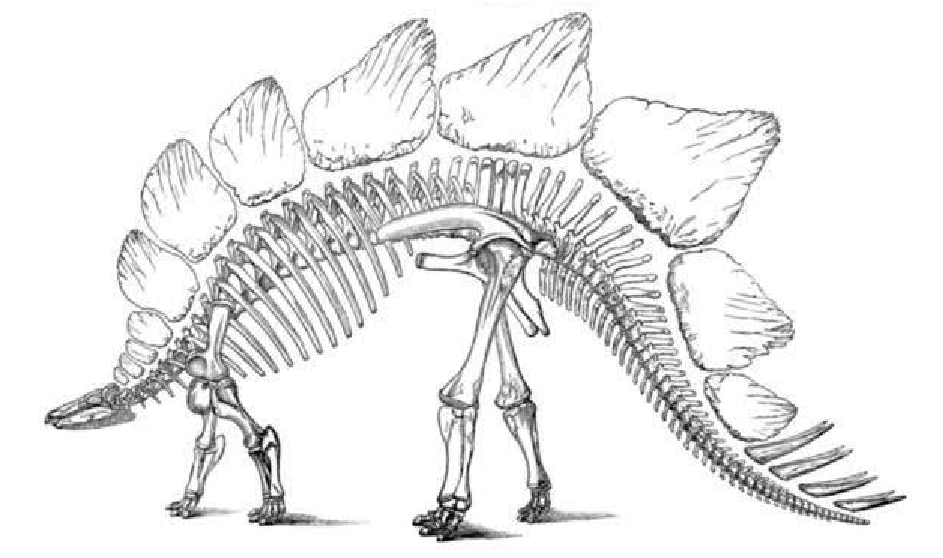

Stegosaurs of the Morrison Formation
(Late Jurassic)
Hesperosaurus mjosi
Carpenter, Miles & Cloward,
2001
Wyoming
Stegosaurus stenops
Marsh, 1887
Colorado, Wyoming, Utah
"Stegosaurus" longispinus
Gilmore, 1914
Wyoming
Stegosaurus ungulatus
Marsh, 1879
Wyoming, ? Portugal
© N. Tamura, 2011
1
2
3
4
5









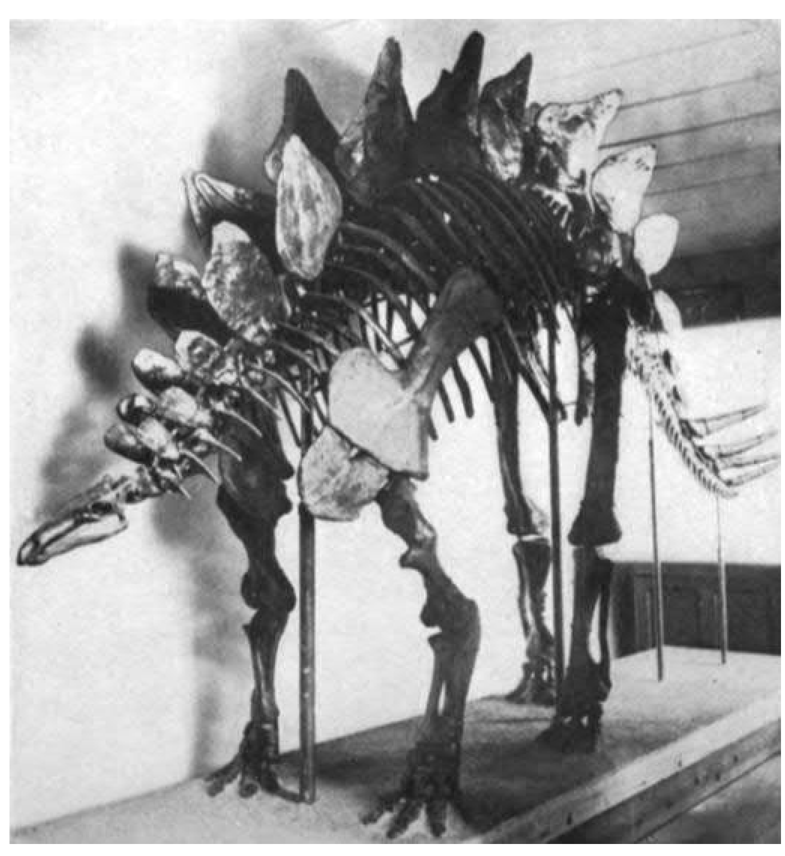




stenops Stegosaurs بمتحف التاريخ الطبيعي في لندن



Stegosaurus ungulatus بمتحف كارنيج للتاريخ الطبيعي Carnegie Museum of Natural History



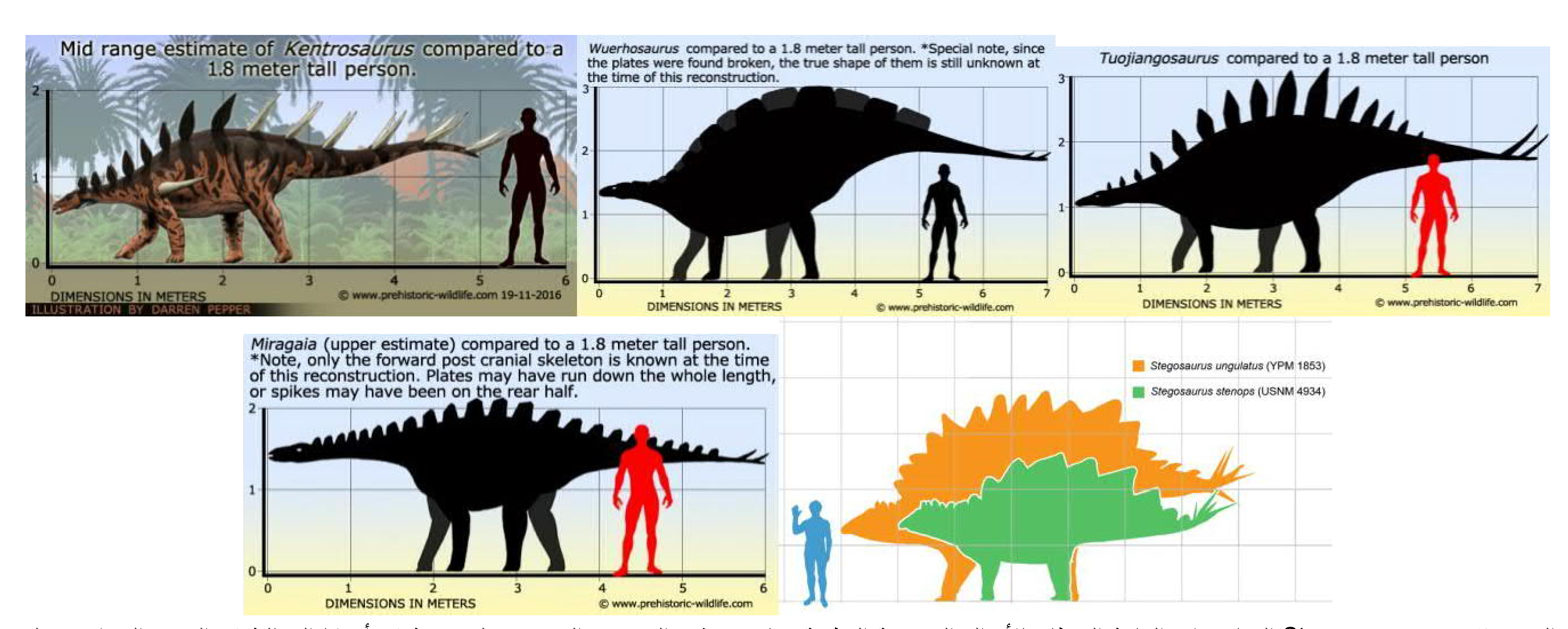
Stegosaurus ungulatus بمتحف Peabody Museum of Natural History



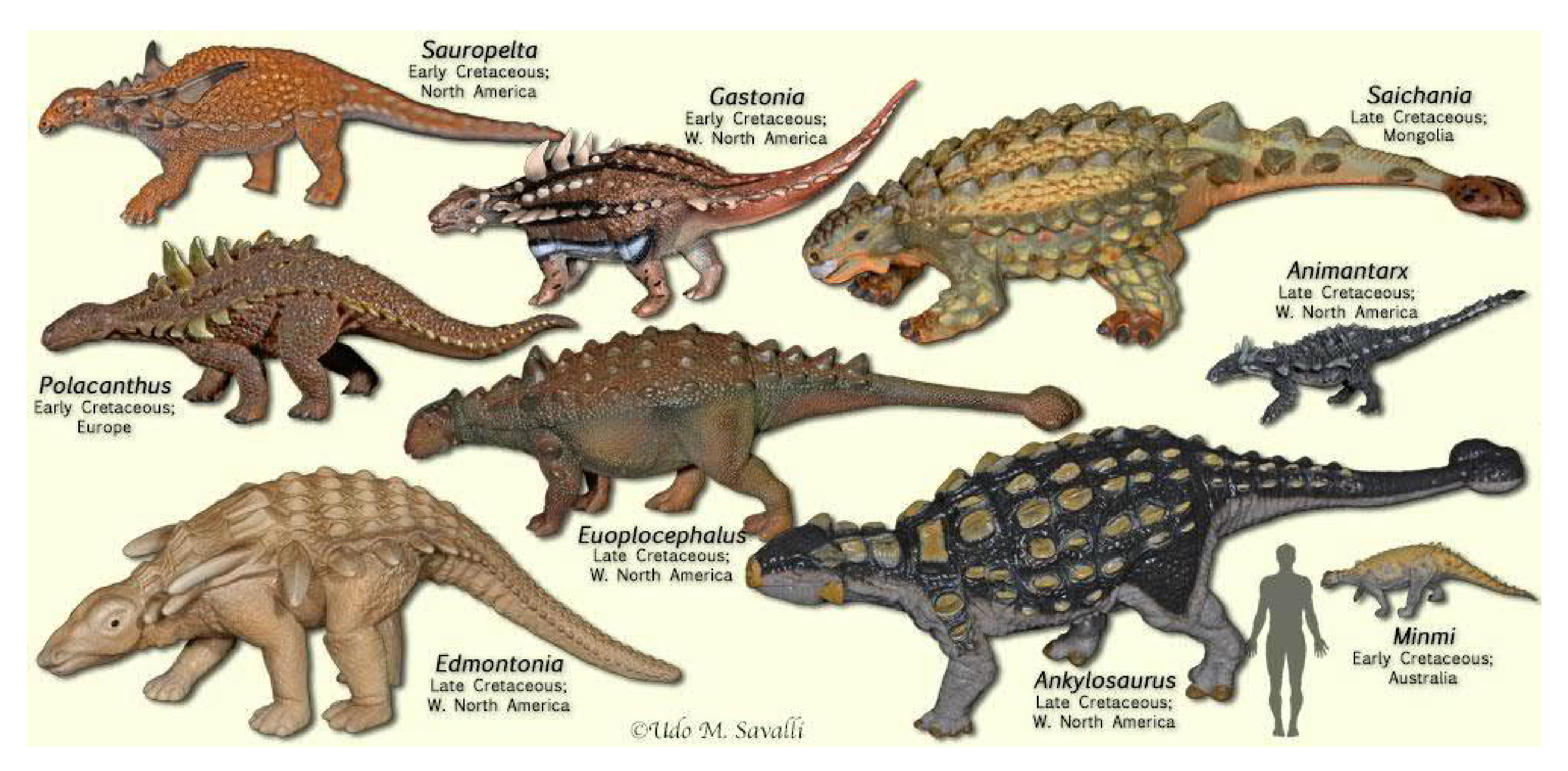
أشواك ذيلية



Hesperosaurus

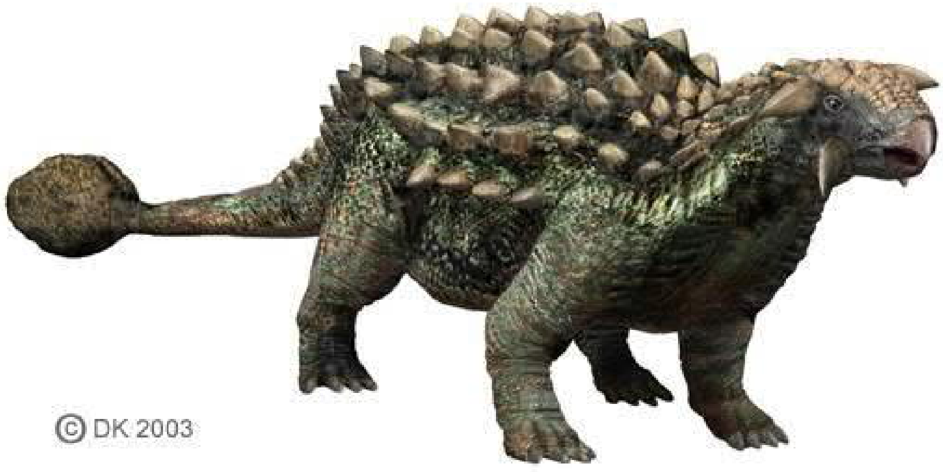


الصور ١٢- ١٦ Stegosaurs الديناصورات النباتية المغطاة بالأشواك الصفيحية العظمية. عاشت منذ حوالي ١٤٥ إلى ١٥٥ مليون سنة في أمريكا الشمالية في العصر الجوراسي ,يبلغ طولها حوالي ٨ إلى ١٦ متر ويزن حوالي ٤ – ٧ طن، يتميز هذا الديناصور بأن له رأس صغير، وله حراشف فوق ظهره وفي آخر ذيله أشواك تشبه الرماح ويمثل هذا درعا بالنسبة له خصوصا أنه عاش مع ديناصورات من أكلة اللحوم مثل الألوصور والكيراتوصور. يعتبر الستيغوصور من الحيوانات غير اللاحمة أي بمعنى ليست آكلة للحوم ولكنها تعتبر من الحيوانات النباتية أي الآكلة للنبات فتتغذى على النباتات. لا يزال العلماء يتجادلون حول مكان الصفائح وعدد أزواج الأشواك الذيلية.


Sauropelta
Early Cretaceous;
North America
Gastonia
Early Cretaceous;
W. North America
Saichania
Late Cretaceous;
Mongolia
Animantarx
Late Cretaceous;
W. North America
Polacanthus
Early Cretaceous;
Europe
Euoplocephalus
Late Cretaceous;
W. North America
Edmontonia
Late Cretaceous;
W. North America
Ankylosaurus
Late Cretaceous;
W. North America
Minmi
Early Cretaceous;
Australia
©Udo M. Savalli

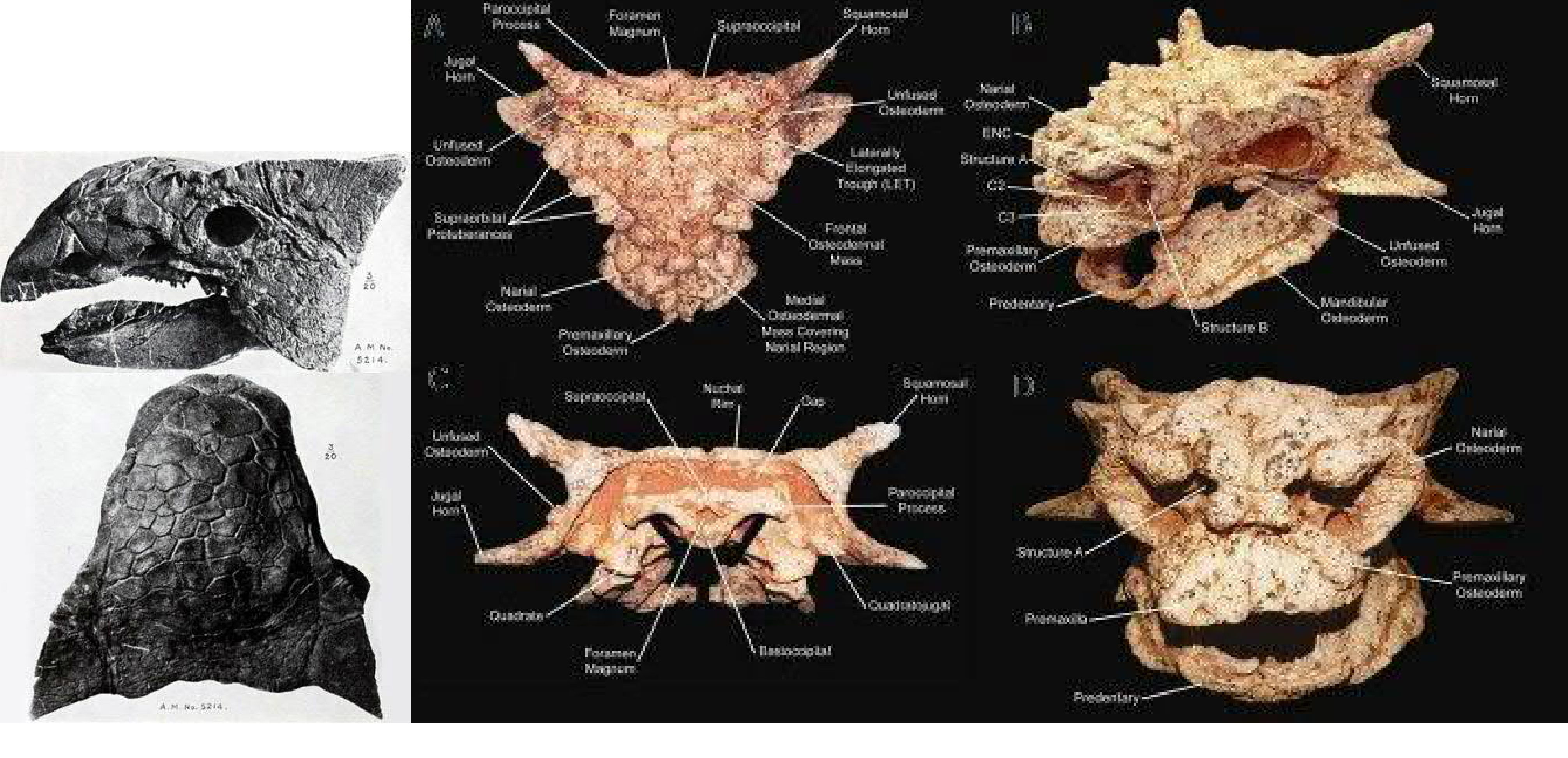





© DK 2003



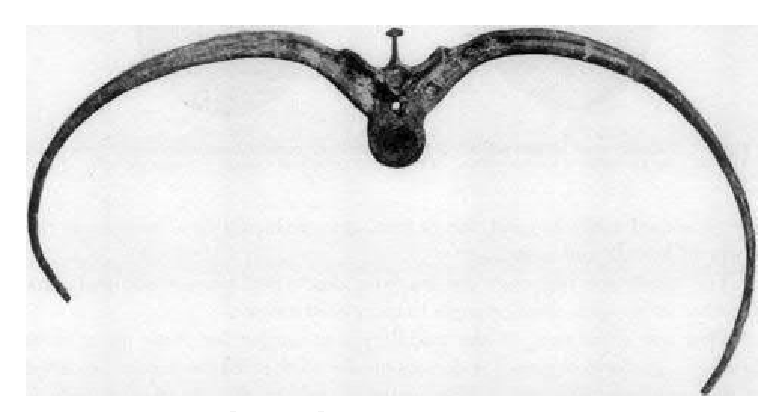








متحجرتا هراوتين ذيليتين



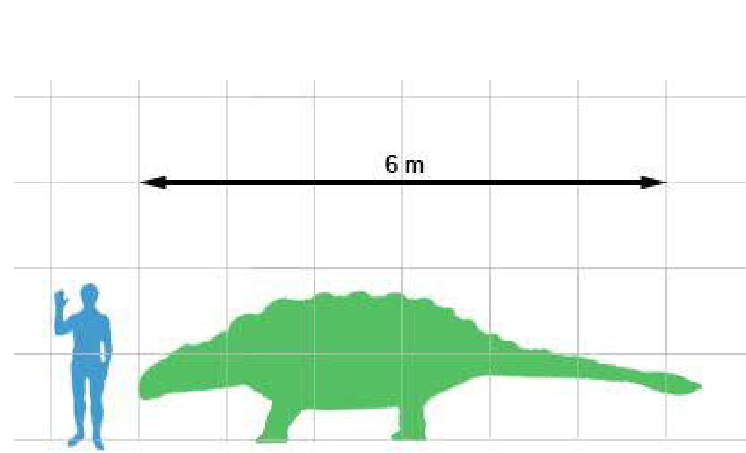
فقرة من العمود الفقري ملتحمة [مدموجة] بالضلوع





Gastonia [الجاستوني، سُمي كذلك تكريمًا لعالم المتحجرات الأمِركي Rob Gaston]

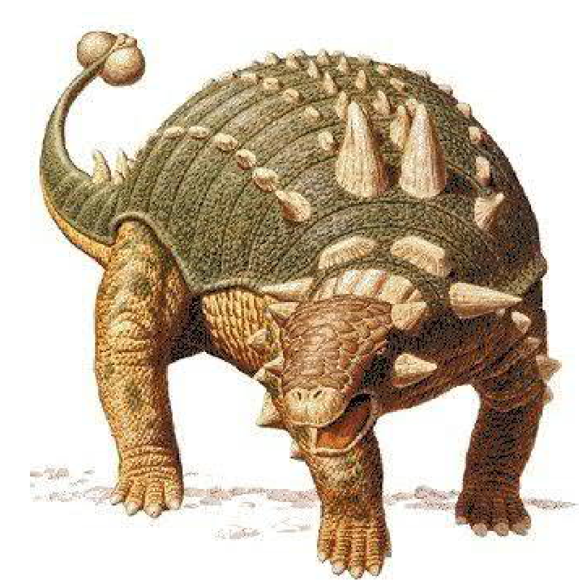
Ankylosauridae ذوات العظام المدموجة، حيث كانت الكثير من عظام جماجمها وأجسامها مدموجة مما جعلها حيوانات غليظة. وهي فصيلة ضمن الرتبة Ankylosauria ومجموعة شقيقة للفصيلة Nodosauridae. ظهرت منذ ١٢٢ مليون عام ماضٍ وانقرضت من ٦٦ مليون عام أثناء انقراض العصر الطباشيري–الباليوجيني. كانت نباتية على نحو رئيسي وملزمة بالمشي على أربع، وذوات أسنان على شكل ورقة الشجر وأجساد قوية مغطاة بالصفائح العظمية. وامتلكت رؤوسًا كشكل القبة وخطومًا قصيرة، وجلد متعظِّم على شكل الأوتاد على جلودها، وصفائح على طول جذوعها، وذيلًا به هراوة. لم يعثر على هذه الفصيلة إلا في نصف الكرة الشمالي، في غربي أمركا الشمالية وأوربا وشرق آسيا. كان لها تلاحمات عظمية إضافية على العظام القحفية [الجمجمية] لتي تغطي بعض فتحات الجمجمة وتشكل بنيوات على شكل أوتاد وشبيهة بالقرون. على طول جذوعها وُجدت صفوف صفائح والتي امتلأت الفراغات فيما بينها بعظيمات أصغر لعمل درع مدموج. وياقتان درعيتان على الرقبة. وتميزت بهرواة ذيلية مصنوعة من فقرات عجزية متداخلة وتعظمات جلدية بصلية الشكل.







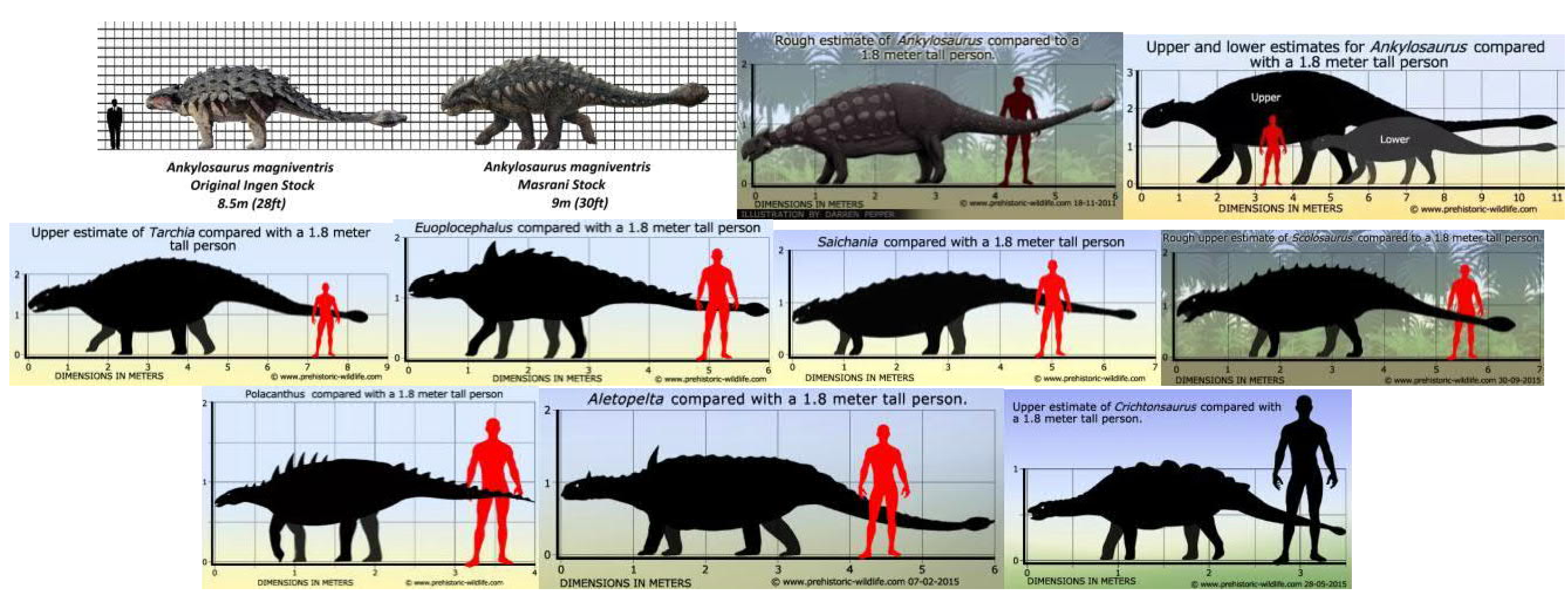




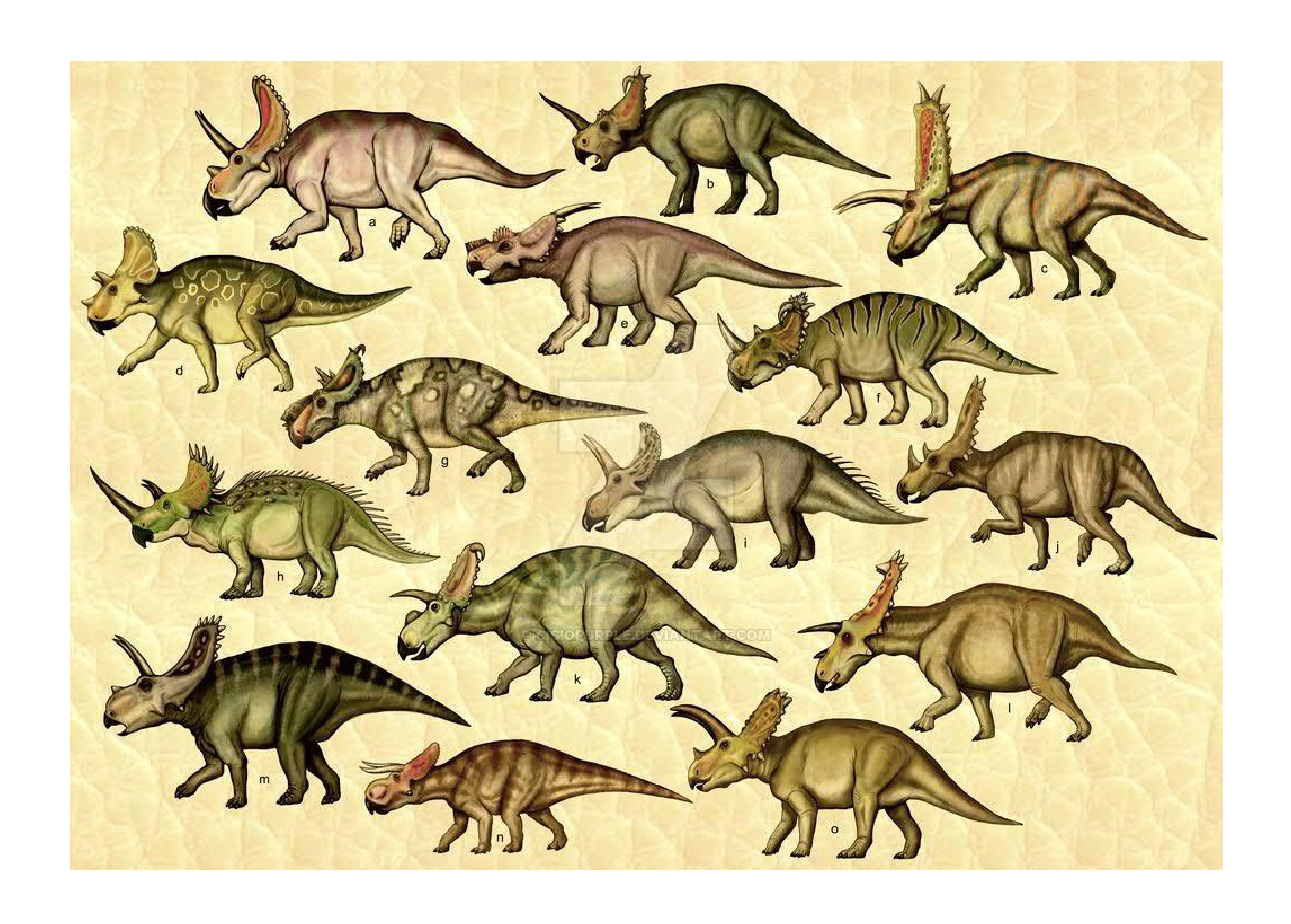
الصور ١٢– ١٧ Ankylosaurus االديناصور مدموج العظام، تظهره إعادات البناء الحديثة كديناصور نشيط نسبيا، مقارنة مع الصور القديمة التي تصوره كأشبه بسلحفاة عملاقة

Ankylosaurus الأنكيلوسور أو العظاءة الملتحمة أو المدموجة العظام (بالإنجليزية: Ankylosaurus) هي جنس منقرض من العظاءات حاملات الدروع. ويحتوي على نوع واحد، هو عظاءة ملتحمة كبيرة البطن (A. magniventris). تم العثور على أحافير الأنكيلوصور على هيئة تكوينات جيولوجية ترجع إلى أواخر نهايةالعصر الطباشيري فترة (علم الجيولوجيا) (منذ حوالي من ٦٥,٥ إلى ٦٦,٥ مليون سنة) بِغرب أمريكا الشمالية. وعلى الرغم من عدم اكتشاف هيكل عظمي كامل للأنكيلوصور مع تميز ديناصورات عديدة أخرى بمواد أحفورية شاملة، إلا أنه يُعتَبَر الديناصور دِرع (علم الحيوان) النموذج الأصلي. وتشترك الديناصورات الأخرى التي تنتمي إلى فصيلة العظاءات الملتحمة (Ankylosauridae) في ملامحها المعروفة وهي—الجسد الذي يحتوي على درع ثقيل والذيل العضمي الضخم—إلا أن الأنكيلوصور كان أكبر الأعضاء المعروفة في العائلة. وفقًا للمعايير الحديثة، كان الأنكيلوصور حيوانا ضخما قُدِّرَ طوله من ثمانية إلى تسعة أمتار ويصل وزنه إلى ستة أطنان . ولكن بعد عمل إعادة وصف بارزة للحفريات عام ٢٠٠٤، تم تقديم اقتراح بحجمٍ أصغر بكثير، وذلك بناء على أكبر جمجمة معروفة بلغ طولها ٦٤,٥ سم وعرضها ٧٤,٥ ووصل تقييم الحيوان ككلٍ إلى ٦,٢٥م طولًا و١,٥م عرضًا بالإضافة إلى طول الورك الذي وصل إلى ١,٧م . وقد كان شكل الجسم منخفضًا وعريضًا جدًا. وكان رباعي الأقدام، تطول أطرافه الخلفية عن أطرافه الأمامية. وعلى الرغم من أن ملامح القدَم لا تزال غير معروفة، إلا أن المقارنات التي تم إجراؤها مع الأنكيلوصوريات (ankylosaurids) الأخرى توحي باحتمالية وجود خمسة أصابع في كل قدم من أقدام الأنكيلوصور. أما الجمجمة فكانت منخفضة ومُثَلَّثة الشكل، وعرضها أكبر من طولها. الأنكيلوصور، مثل الأنواع الأخرى الأنكيلوصورات، كان حيواناً لديه أسنان صغيرة تأخذ شكل ورقة الشجر تتناسب مع التقاط النباتات. وكانت هذه الأسنان، بالنسبة إلى حجم الجسم، أصغر من تلك التي تمتلكها أنوع الأنكيلوصورات الأخرى. ولم يشارك الأنكيلوصور غيره من الديناصورات المعاصرة مثل سيراتوبسيد (ceratopsid) وهادروصوريد (hadrosaurid) في مجموعات أسنانها الطاحنة، مما يشير إلى ضآلة صوت المضغ الذي كان يُحدِثه. وقد كانت عظام الجمجمة متلاحمة مع العظام الأخرى للجسم مما يزيد من قوتها. يعد الدرع من أوضح ملامح الأنكيلوصور، ويتكون من نتوءات وصفائح عظمية ضخمة تُعرَف بـ osteoderms أو صفائح كيتينيَّة مُتَضمَنة في الجلد. كما توجد الجلود العظمية أيضًا في جلد التماسيح والأرماديللو (armadillo) وبعض السحالي. وفي الأرجح كانت العِظام مغطاة بطبقة خشِنة وصلبة من الكيراتين. وقد تراوح حجم هذه الجلود العظمية من صفائح مُسطَّحة وعريضة إلى نتوءاتٍ دائرية. وكانت الصفائح مُصطفَّة في صفوفٍ رأسية منتظمة أسفل الرقبة والظهر والأوراك، كما كانت مزوَدة بنتوءاتٍ أصغر تحمي المناطق الواقعة بين الصفائح الكبيرة. وربما كان هناك صفائح أصغر انتظمت على الأطراف والذيل. وعند مقارنة أويلوسيفالوس وهو نوع أقدم إلى حدٍ من الأنكيلوصور نجد أن صفائح الأنكيلوصور كانت ذات نسيج ناعم يخلو من الأجزاء المرتفعة التي وُجِدَت على درع نودوصوريد (nodosaurid) المعاصر إدمونتونيا (Edmontonia). وقد يكون صف من النتوءات الهرمية المُسطَّحة نتأ جانبيًا في موازاة جانبيّ الذيل. كما عمِلت حراشيف دائرية خشِنة على حماية قمة الجمجمة، بينما نتأت أربعة قرون هرمية كبيرة من زواياها الخلفية متجهة نحو الخارج وقد كانت هراوة ذيل الأنكيلوصور الشهيرة كذلك تتألف من العديد من الجلود العظمية الضخمة التي كانت تلتحم بفقرة الذيل. كما كانت ثقيلة ومدعّمة بآخر سبع فقراتٍ في الذيل التي تشابكت مُكَونةً قضيبًا قويًا في قاعدة الهراوة. وبالنسبةِ إلى الأوتار المتصلة بتلك الفقرات، فقد تم حِفظها. وقد كانت هذه الأوتار متحجّرة (أو عظمية) بشكلٍ جزئي ولم تكن مرنة للغاية، مما يسمح بانتقال قوة كبيرة إلى نهاية الذيل حين يتأرجح. ويتضح أنها كانت سلاحًا دفاعيًا فعّالاً قادرًا على إحداث أثر مدمِّر يكفي لكسر عظام المهاجم. أظهرت دراسة في عام ٢٠٠٩ أن" نتوءات الذيل كبيرة الحجم قادرة على إحداث قوة كافية لكسر العظام أثناء التصادمات، بينما لا تقوى النتوءات الصغيرة والمتوسطة على إحداث ذلك"، وأن "سلوك أرجحة الذيل محتمل حدوثه عند ديناصورات الأنكايلوصوريدس (ankylosaurids) ولكنه لا يزال غير معروف ما إذا كانت تستخدمه كوسيلةٍ لدفاع داخلي معين أو لصراع خارجي محدد أو لكليهما". وجرى الافتراض بأن هراوة الذيل كانت تستخدم كشركٍ للرأس ولكن هذه الفكرة فقدت مصداقيتها الآن إلى حدٍ كبير .تم العثور على الأنكيلوصور ماغنيفينتريس منذ ٦٦,٥ إلى ٦٥,٥ مليون عام مضت، وذلك في آخر مرحلة من مراحل فترة أواخر العصر الطباشيري وهي مرحلة الماسترخي، وكان يُعَد ضمن آخر أنواع الديناصورات التي ظهرت قبل حدوث الانقراض في العصر الطباشيري–الباليوجيني (Cretaceous–Paleogene extinction event). وتنشأ العينة الأصلية من تقسيم

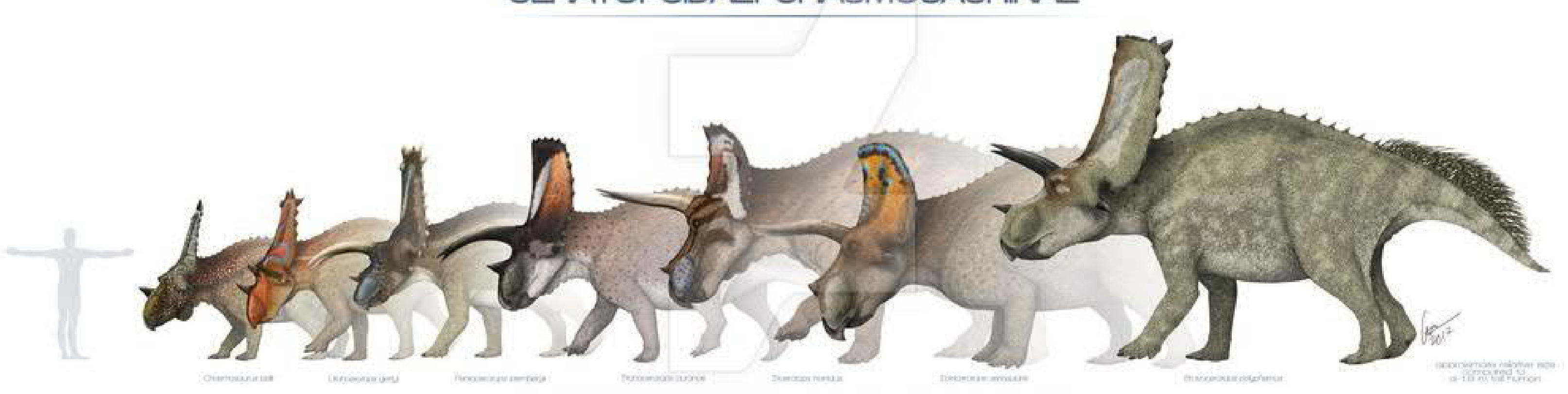
هيل كريك (Hell Creek Formation) بولاية مونتانا، بينما تم العثور على العينات الأخرى في تقسيم لانسي (Lance Formation) لولاية وايومينغ وفي تقسيم إسكولارد (Scollard Formation) بمقاطعة ألبرتا، في كندا، هذا على أن كل هذه العينات ترجع إلى نهاية العصر الطباشيري.وتمثِل تكوينات لانسي وهيل كريك وإسكولارد أقسام مختلفة من الشاطئ الغربي لـالطريق البحري الداخلي الغربي (Western Interior Seaway) الذي قسّم غرب قارة أمريكا الشمالية وشرقها أثناء العصر الطباشيري. كما تمثل هذه التكوينات سهلاً ساحليًا عريضًا، وتمتد غربًا من الطريق البحري إلى جبال روكي التي تشكلت حديثًا. وتتكون تلك التكوينات إلى حدٍ كبير من الحجر الرملي والحجر الطيني الذي يُميز بيئات السهول الفيضية ويُعد تكوين هيل كريك أفضل ما تم دراسته من بين هذه البيئات القديمة. وفي ذلك الوقت، كانت هذه المنطقة شبه مدارية، ذات مناخ دافئ ورَطِب. وظهرت أنواع عديدة من النباتات، من بينها كاسيات البذور، التي تأتي في المقام الأول، والنباتات الأقل شيوعًا وتشمل الأشجار المخروطية، ونباتات السرخس، ونباتات البذور،.وقد تم العثور على عددٍ وافر من أوراق الأشجار المتحجرة في عشرات من المواقع المختلفة، مما يشير إلى أن المنطقة كانت مُحاطة بأشجارٍ صغيرة على نطاقٍ واسع. وقد تقاسم الأنكايلصوروس بيئته مع ديناصورات أخرى تشمل سيراتوبسيدس (ceratopsids) وتريسيراتوبس (Triceratops) وتوروصوروس (Torosaurus) وهايسيلوفودونت (hypsilophodont) وثيسكيلوصوروس (Thescelosaurus) وهادروصوريد (hadrosaurid) وإدمونتوصورس (Edmontosaurus) ونودوصوريد (nodosaurid) وإدمونتونيا (Edmontonia) وباشياسيفالوصوريا (pachycephalosauria) و Pachycephalosaurus وثيروبودا وأورنيثوميموس (Ornithomimus) وترودون (Troodon). ويندر وجود حفريات الأنكيلوصور في تلك الرواسب إلى حدٍ كبير، عند مقارنتها بديناصورات الإدمونتوصوروس وديناصورات تريسيراتوبس الوافرة بغزارة، والتي تشكِل أكثرية الحيوانات النباتية الضخمة. كما تم العثور على نوعٍ آخر من ديناصورات الأنكايلوصور في نفس التكوينات وهو ديناصور الإدمونتونيا. ومع ذلك فيبدو أن ديناصور الأنكيلوصور قد انفصل عن ديناصور الإدمونتونيا من النواحي الجغرافية والبيئية. تحلَّى ديناصور الأنكايلصوروس بخَطم عريض، ربما يُستخدَم بهدف الرعي العشوائي ولذلك يتقيد بالمناطق المرتفعة بعيدًا عن الساحل، بينما تَميز ديناصور الإدمونتونيا بخطمٍ أضيق مما يتيح نظامًا غذائيًا أكثر انتقائية، ويبدو أنه كان يعيش في مناطق أقل ارتفاعًا وقريبة من الساحل. كان يُطلَق على ديناصور الأنكيلوصور عينة مميزة (علم الحيوان) لعائلة الأنكايلوصوريداي (Ankylosauridae). تُعَد ديناصورات الأنكايلوصوريدس (Ankylosaurids) ضمن أعضاء صنف أكبر وهي صنف أنكايلوصوريا (Ankylosauria) والتي تشمل ديناصورات نودوصوريدس (nodosaurids) كذلك. يُعد موضوع تاريخ تطور سلالة الأنكايلوصور (Ankylosaur) مثيرًا للجدل، كما تم تقديم العديد من التحليلات غير المتوافقة بشأنه في السنوات الأخيرة، وعليه فإن الوضع الدقيق لديناصور الأنكايلصوروس داخل عائلة الأنكايلوصوريداي (Ankylosauridae) غير معروف. ويجري الاعتقاد بأن ديناصور الأنكيلوصور وديناصور أوبلوسيفالوس (Euoplocephalus) من الأصناف الشقيقة (sister taxa). ولكن وجدت تحاليل أخرى أن هذه الأنواع من مراتب مختلفة. وربما تعمل اكتشافات أو أبحاث أخرى على توضيح الأمر.



مقارنة حجم إنسان طوله 8 ,1 بأحجام بعض مدموجات العظام

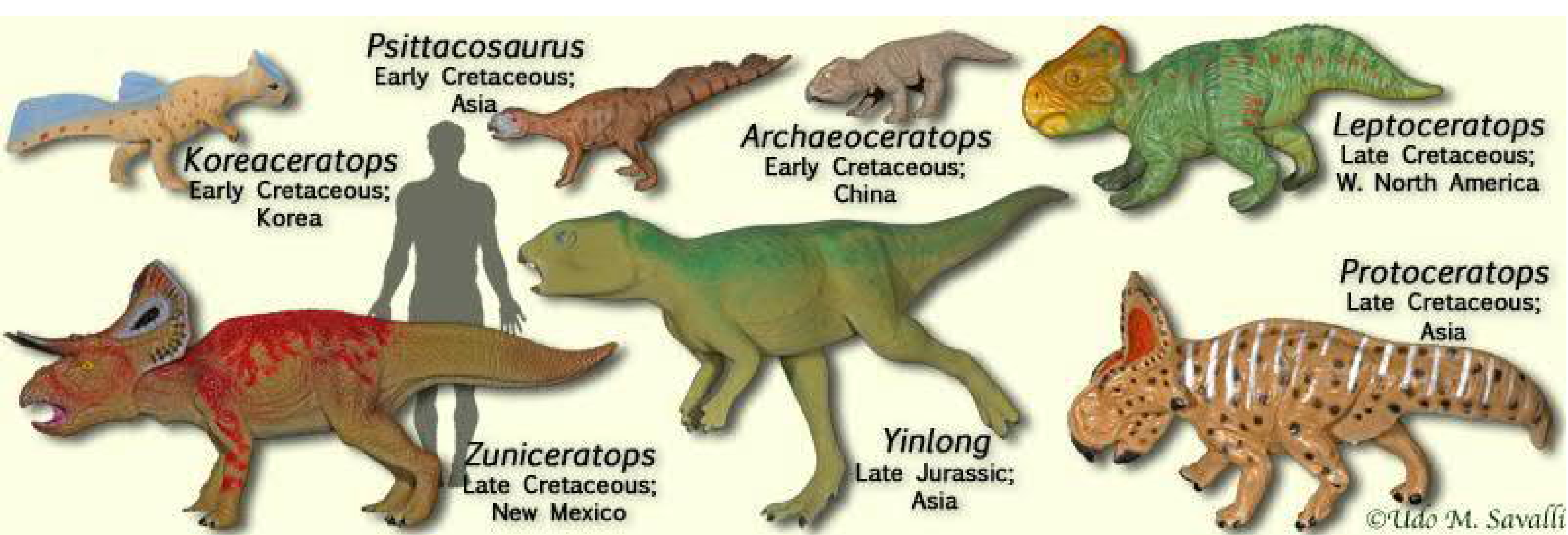



CERATOPSIDAE: CHASMOSAURINAE




Centrosaurinae
1. Xenoceratops foremostensis; 2. Sinoceratops zhuchengensis; 3. Pachyrhinosaurus lakustai; 4. Pachyrhinosaurus perotorum
5. Pachyrhinosaurus canadensis; 6. Achelousaurus horneri; 7. Einiosaurus procurvicornis; 8. Monoclonius lowei
9. Coronosaurus brinkmani; 10. Nasutoceratops titusi; 11. Styracosaurus albertensis; 12. Rubeosaurus ovatus
13. Centrosaurus apertus; 14. Spinops sternbergorum; 15. Avaceratops lammersi; 16. Diabloceratops eatoni; 17. Albertaceratops nesmoi
Ceratopsoidea
18. Turanoceratops tardabilis
19. Zuniceratops christopheri
Protoceratopsidae
20. Protoceratops andrewsi
21. Protoceratops hellenikorhinus
Leptoceratopsidae
42. Gryphoceratops morrisoni
43. Unescoceratops koppelhusae
Basal Neoceratopsia
44. Koreaceratops hwaseongensis
Chasmosaurinae
22. Anchiceratops ornatus; 23. Coahuilaceratops magnacuerna; 24. Kosmoceratops richardsoni; 25. Agujaceratops mariscalensis; 26. Vagaceratops irvinensis
27. Mojoceratops perifania; 28. Medusaceratops lokii; 29. Arrhinoceratops brachyops; 30. Chasmosaurus belli; 31. Chasmosaurus russelli; 32. Pentaceratops sternbergi
33. Utahceratops gettyi; 34. Eotriceratops xerinsularis; 35. Triceratops horridus; 36. "Yoshi's Trike"; 37. Judiceratops tigris; 38. Titanoceratops ouranos
39. Triceratops prorsus; 40. Torosaurus latus; 41. Bravoceratops polyphemus
© Julius T. Csotonyi

مقارنة مع حجم الإنسان وحيد القرن



ديناصورات قرناء أوليَّة



Psittacosaurus mongoliensis [الديناصور ذو المنقار الشبيه بالخاص بالببغاء، النوع الفرعي المنغولي] نوع أولي من الديناصورات النباتية ذوات الرؤوس القرناء كان يسير على قدمين.





Protoceratops [يعني اسمه أول رأس ذي قرون] رغم أن قرونه لم تكن متطورة جيدًا وهو نوع أولي فيه صفات بدائية لا تظهر في الأنواع التالية زمنيا من الفصيلة ذات القرون.

الصور ١٢– ١٨ التنوعات المدهشة للديناصورات النباتية القرناء ceratopsians، صور أنواع متطورة



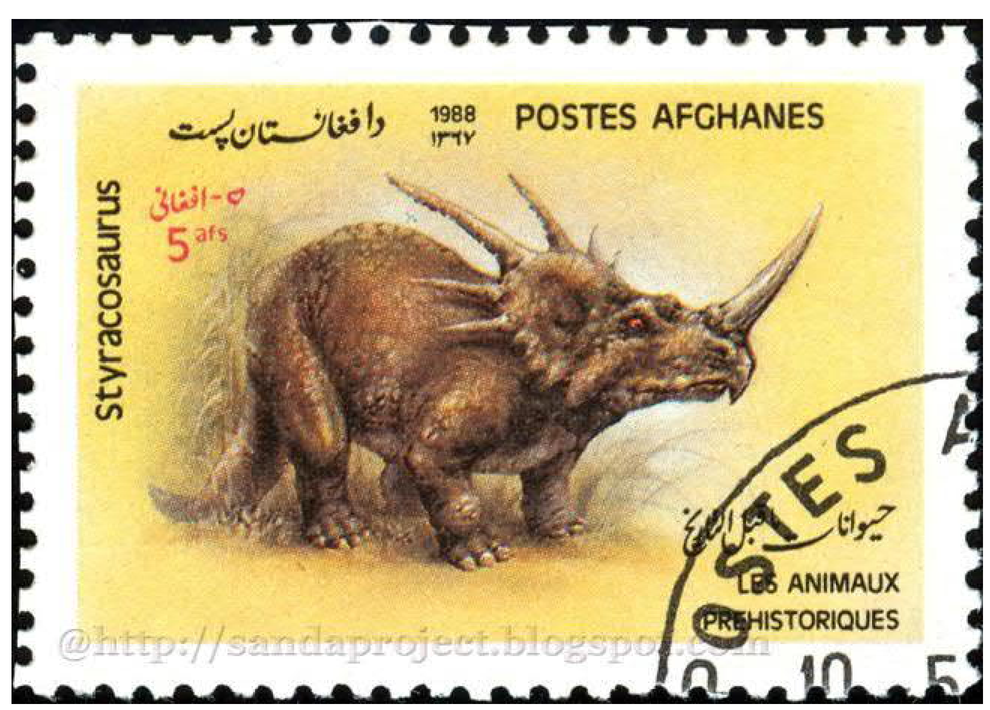
Chasmosaurus [ذو الفتحتين الواسعتين في هيكل هدب رأسه]

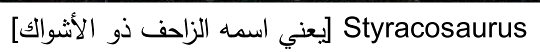






Triceratops أشهر الديناصورات القرناء





Styracosaurus [يعني اسمه الزاحف ذو الأشواك]



Centrosaurus [ذو الزائدتين أوالقُرَيْنَيْن المعقوفتن على قمة هدب رأسه والقرن الواحد فوق أنفه]



Chasmosaurus [ذو الفتحتين الواسعتين في هيكل هدب رأسه]



Albertaceratops

Ceratopsians فصيلة الديناصورات النباتية ذوات الرؤوس القرناء

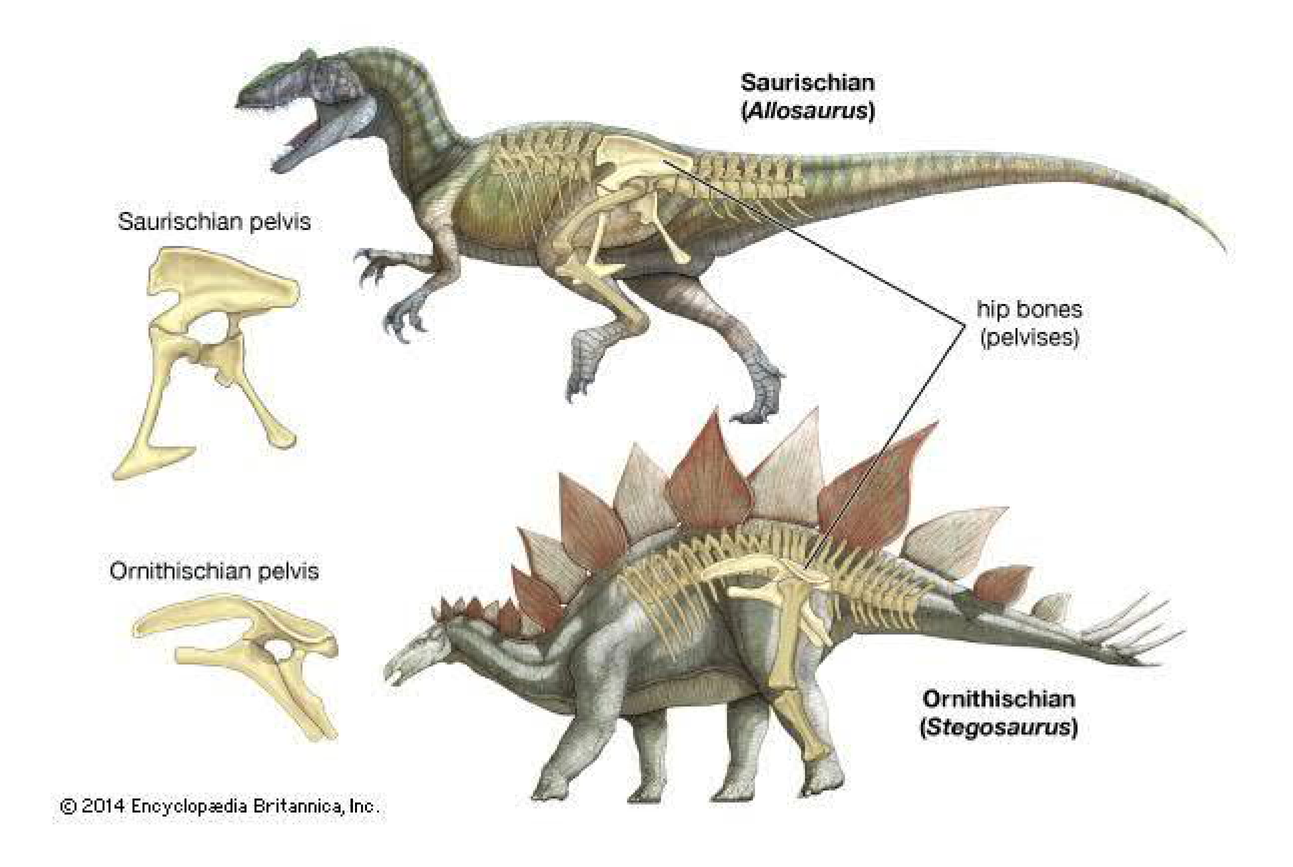
Pachycephalosaurus
Late Cretaceous;
W. North America
Stygimoloch
Late Cretaceous;
W. North America
Stegoceras
Late Cretaceous;
W. North America
Dracorex
Late Cretaceous;
W. North America
©Udo M. Savalli







Pachycephalosaurs الديناصورات النباتية سميكة الرؤوس مدرعتها والمزودة بقرون وزوائد، كانت تسير على قدمين اثنين.



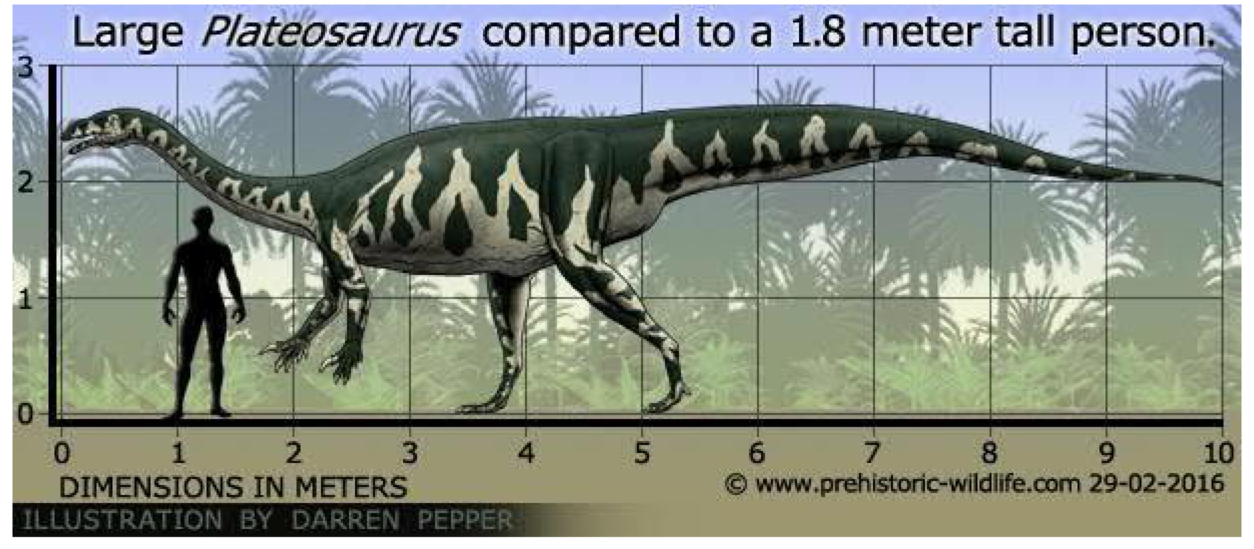
الفرق التشريحي بين الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالخاص بالسحلية وذوات الورك الشبيه بالخاص بالطيور

الديناصورات النباتية ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية وذوات الصفات الشبيهة بذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية Sauropodomorphs

تطورت بعض الديناصورات المبكرة لتصير آكلات نباتات كبيرة الحجم جدًّا ثقيلة الأوزان سائرة على أربع أقدام، ذوات أقدام عريضة وأطراف قوية شبيهة بالأعمدة. كان للديناصورات النباتية ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية وذوات الصفات الشبيهة بذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية Sauropodomorphs تشعبٌ مبكرٌ يتمثل في شبيهات ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية prosauropods، وتشعبٌ لاحق زمنيًّا يتمثل في ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية sauropods الشهيرة المألوفة لجميعنا أكثر. كانت شبيهات ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية prosauropods وافرة الأعداد، ديناصورات ذوات أحجام ما بين المتوسط إلى الكبير عاشت في العصر الترياسي المتأخر (الصور ١٢- ١٩). لقد كانت في العادة بطول حالي ٦ أمتار، إلا أن النوع Riojasaurus [ديناصور محافظة Rioja في الأرجنتين] كان كبيرًا على نحو غير معتاد في فصيلته فطوله عشر أمتار. عاشت شبيهات ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية prosauropods على كل القارات ما عدا ما هو حاليًّا القارة القطبية الجنوبية، وكانت لها حياة حيوانية ثرية متنوعة عُرِفَتْ من صخور أوربا وأفريقيا وأمِركا الجنوبية وآسيا. وقد استمرت حتى العصر الجوارسي، عندما حلت محلها ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية sauropods.

كانت كل شبيهات ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية prosauropods آكلات نباتات مرتعِية على الغصينات والأوراق. كانت أسنانها عامةً جيدة لتقطيع النباتات لكن ليس لتحويلها إلى عجين. لم تلامس أسنانها المتقابلة أحدها الآخر، وكان لا بد أن يقام بكل الطحن في حوصلة [قانصة]. وقد عُثِر على صخور صغيرة بداخل هياكل العديد منها. كانت طويلة بوجهٍ خاصٍّ، ذوات رقاب ورؤوس خفيفة البنية، وخفيفة ربع الجسد الأمامي [الطرفين الأمامين وما يجاورهما]. لقد كانت متكيفة على نحو واضح للارتعاء على النباتات العالية، ربما كانت تصل بها باستعمال ثلاثية "الأرجل" أو الدعامات التي تتشكل بطرفيها الخلفيين وذيلها الثقيل. كان النوع Riojasaurus [ديناصور محافظة Rioja في الأرجنتين] فقط _وهو الأكبر حجمًا فيها_ سائرًا على أربع دومًا بسبب وزنه، لكنه امتلك رقبة طويلة جدًّا لتعويض ذلك. كانت ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية الأوليّة prosauropods أول حيوانات ترتعي على النباتات العالية عن الأرض، وقد مثَّلوا مجموعة إيكولُجيَّة جديدة تمامًا من آكلات النباتات التي استغلت موردًا هامًّا جديدًا في النطاق الذي يعلو عن الأرض بحوالي ٤ أمتار. نفس التكيف تطور من جديد على نحو مستقل ومتناظر لاحقًا في ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية sauropods، وتطور مجددًا في ثدييات مثل الزراف.

بدأت شبيهات الديناصورات ذوات القدم الشبيهة بالسحلوية صغيرة الأحجام، ككل مجموعات الديناصورات الأخرى. فكان طول الديناصور Anchisaurus مترين ونصف فقط (الصور ١٢ -١٩). لكنْ سرعانَ ما صارت شبيهات الديناصورات ذوات القدم الشبيهة بالسحلوية أكبر وأثقل أعضاء مستعمراتها الحيوانية، وكانت وفيرة الأعداد. يمثل النوع Plateosaurus [يعني اسمه الزاحف العريض أو عريض الكتفين] ٧٥% من مجموع الأفراد الكلي للعينات في موقع مبحوث فيه ومجموع العينات على نحو جيد في جرمانيا، وقد كان يمثل على الأرجح ٩٠% من إجمالي الحيوانات في مستعمرته.

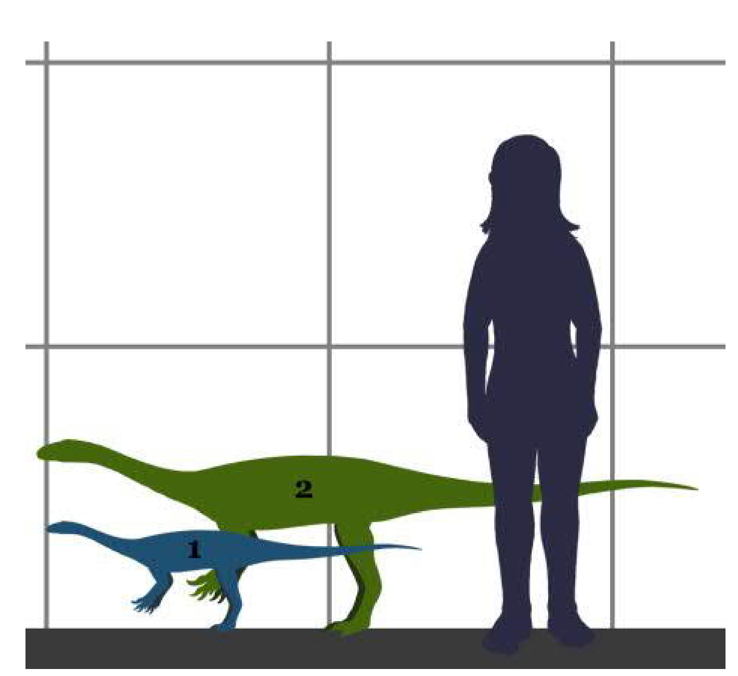


Plateosaurus

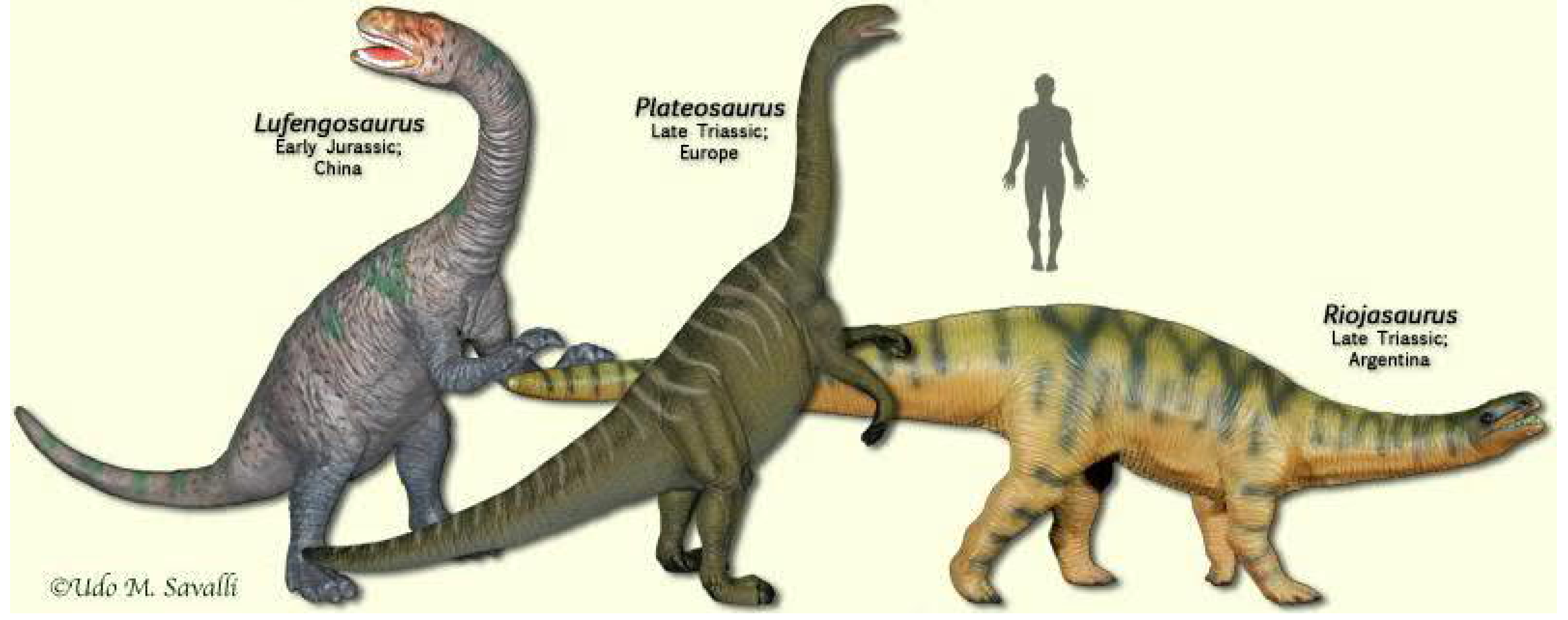




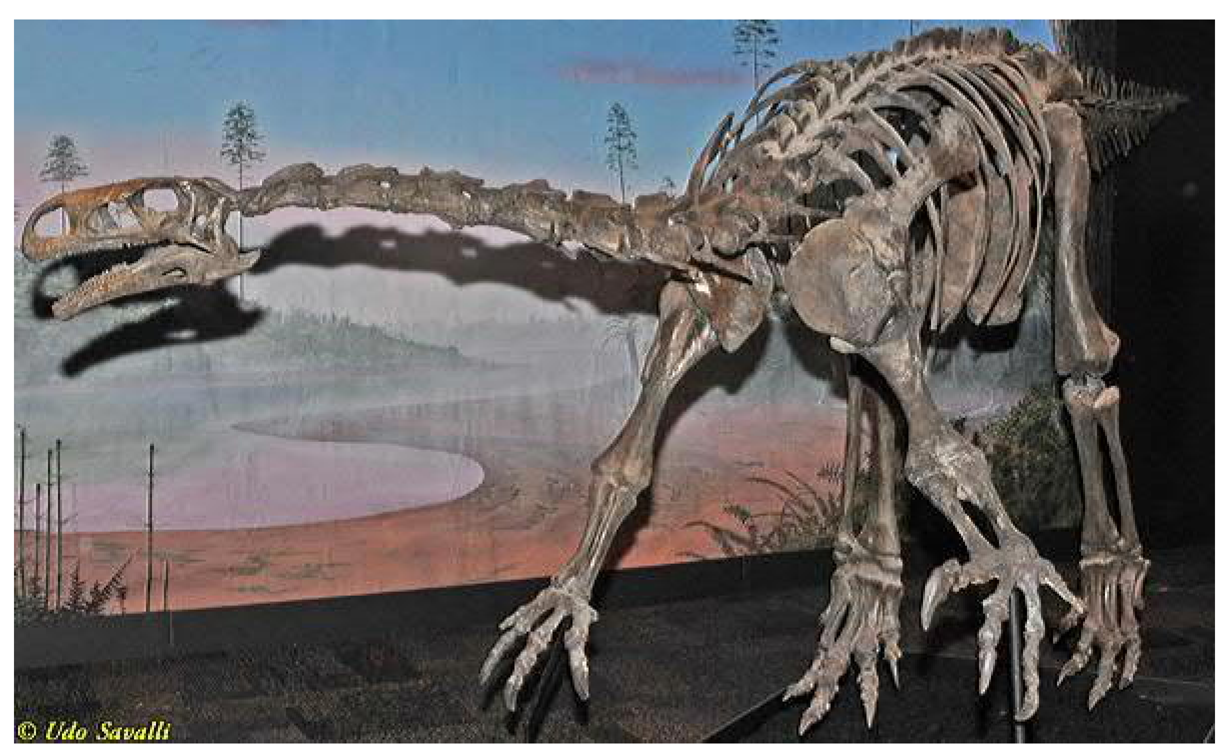




الصورة ١٢– ١٩ Anchisaurus [يعني اسمه الزاحف القريب!] من شبيهات ذوات القدم الشبيهة بالخاصة بالسحلية الأوليّة prosauropods أوليٌّ بدائي، صغير الحجم من العصر الجوارسي المبكر في نيو إنجلاند، كان طوله مترين ونصف. من الواضح أنه كان يناسبه على نحو متساوٍ كل من هذا الوضع الواقف والسائر على قدمين، والوضع الواقف والسائر على أربع. ويقدر طول النوع Anchisaurus polyzelus منه بما يفوق المترين ووزن حوالي ٢٧ كجم. أما النوع Anchisaurus major فكان أكبر ويقدر طوله بما يتروح بين 2 ,2 و 5 ,2 متر، ووزنه تتراوح تقديراته ما بين ٢٠ إلى ٣٢ كجم.



شبيهات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحلية Prosauropods



Plateosaurus

أما ذوات الأقدام الشبيهة بالسحلوية Sauropods فكانت أكبر حيوانات برية مما قد تطور على مر الزمن على الإطلاق. تذكر أن هناك رغبة بشرية طبيعية في اكتشاف الأكبر أو الأقدم لأي شيء. يجب أن نكون حذرين من تقييم الادعاءات بخصوص أحجام وأوزان الديناصورات بدون فحص الأدلة أيضًا. لكن حتى الشخص الحذر يجب أن يُقِرَّ بأن أوزان أجساد ذوات الأقدام الشبيهة بالسحلوية الموثَّقَة جيدًا هي ٥٠ طنًّا على الأقل. ربما كان ديناصور Argentinosaurus [الديناصور الأرجنتيني] قد قارب وزنة المئة طن. تترافق أسماء شهيرة وأرقام هائلة في علم تشريح ذوات الأقدام الشبيهة بالسحلوية. فالنوع Seismosaurus [الديناصور الذي يهز الأرض لشدة ثقل وزنه] من نيو مكسيكو كان بطول ٢٨ مترًا على الأقل، وربما أكثر من ذلك (لقد كان على الأرجح فردًا ضخمًا من النوع Diplodocus). وكان للنوع Brachiosaurus [ذو الذراعين الطويلين الغير معتادتين في رتبة ذوات الأرجل الشبيهة بالسحلوية] طرفان أماميان طويلان يرفعانه إلى ما يتعدى ١٢ مترًا علوًّا، بطول عمارة ذات أربع طوابق، مع وزن يقدَّر بما بين ٥٠ إلى ٨٠ طنًّا.

كانت كل ذوات الأقدام الشبيهة بالسحلوية Sauropods نباتية بالتأكيد، فلا يمكن أن تكون حيوانات برية بهذه الأحجام من اللواحم [المفترِسات]. كان لها رؤوس صغيرة على نحو غريب ورقاب طويلة جدًّا مكنتها من الارتعاء على أي شيء فوق مستوى الأرض ضمن نطاق عشرة أمتار [على الأقل]. وكان ذيلها طويلًا أيضًا، وكانت أجسادها ضخمة، ذوات عظام أطراف وحوض قوية متحملة للون. كانت كل ذوات الأقدام الشبيهة بالسحلوية سائرة على أربع، رغم أنه ربما كانت الأشكال المبكرة منها قد استطاعت أن تمشي أو تقف على قدمين لفترة وجيزة. كانت كتلة الجسد الرئيسية متركزة على الحوض، والذي كان بالتوافق مع ذلك أضخم بكثير من الحزام الكتفي. ضمن ذوات الأقدام الشبيهة بالسحلوية كان هناك خطا تحدر تطوري رئيسيان. أحدهما كان الدبلودُكسيات Diplodocoidea [ذوات الدعامتين تحت الذيل]، كما هو واضح يتضمن نوع الدِبلودُكْس نفسه Diplodocus [ذو الدعامتين، إشارة لوجود صفين من العظام في الجانب السفلي من ذيله لتقديم دعم إضافي وقدرة أكبر على الحركة، في تركيب جسدي غريب]، وذواتِ أقدامٍ شبيهة بالسحلوية أخرى ذوات جماجم طويلة جدًّا وأسنان شبيهة بأسنان الخنزير (الصورة ١٢– ٢٠). أما الخط التحدري الآخر فكان Macronaria [ذوات المنخارين الكبيرين]، الذي سُمِيَ كذلك بسبب حقيقة أن الجمجمة المدموجة لهذه السلالة كان لها فجوات كبيرة للمنخارين (الصورة ١٢– ٢١). تتضمن هذه المجموعة الديناصورات camarasaurs [ذو الفقرات المحتوية على فراغات وممرات مجوفة في نظام معقد لأكياس هوائية متصلة بالرئيتين] و titanosaurs [تعني الديناصور العملاق]. ربما كان المنخاران الكبيرا التجويف يترافقان مع إحداث صوت، لكن يصعب معرفة كيفية اختبار ذلك.



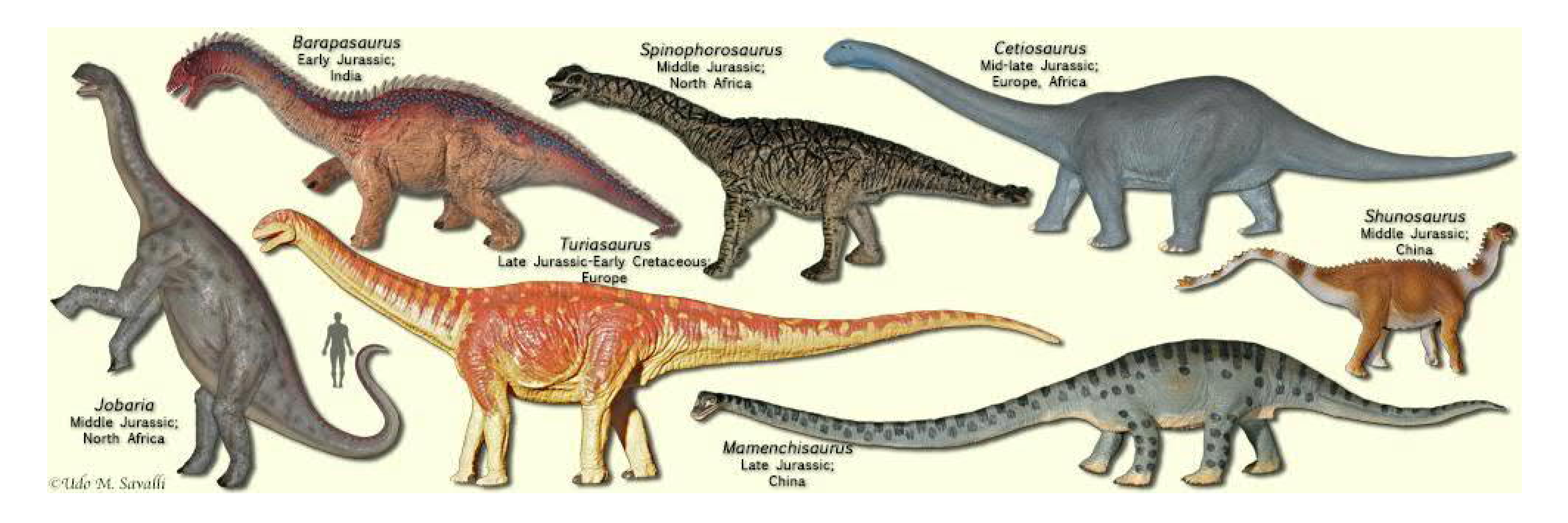
الصورة ١٢– ٢٠ رأس ديناصور ذي أرجل شبيهة بالخاصة بالسحلية sauropod، كبير الحجم، النوع Diplodocus، تظهر فيها أسنانه البارزة.

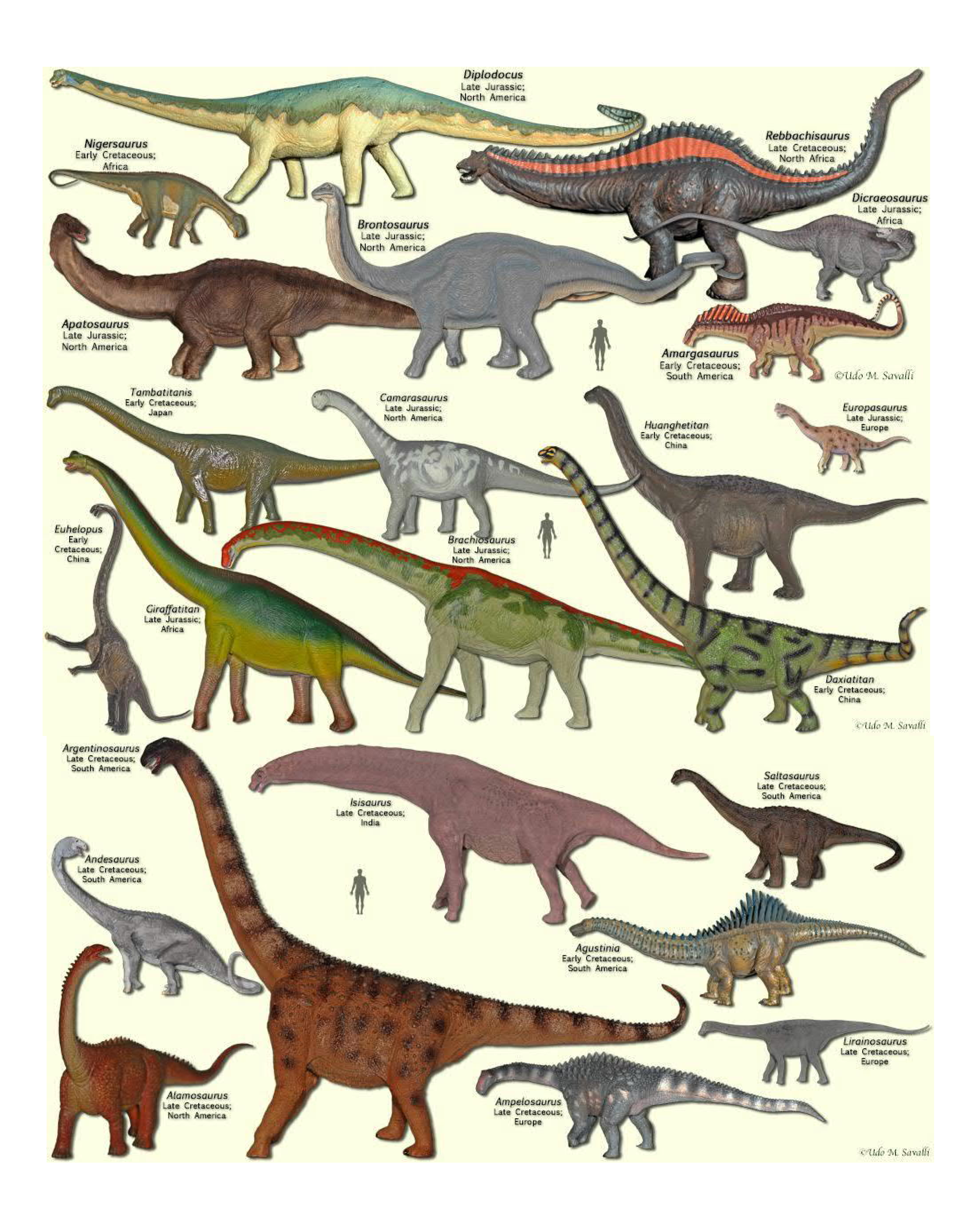


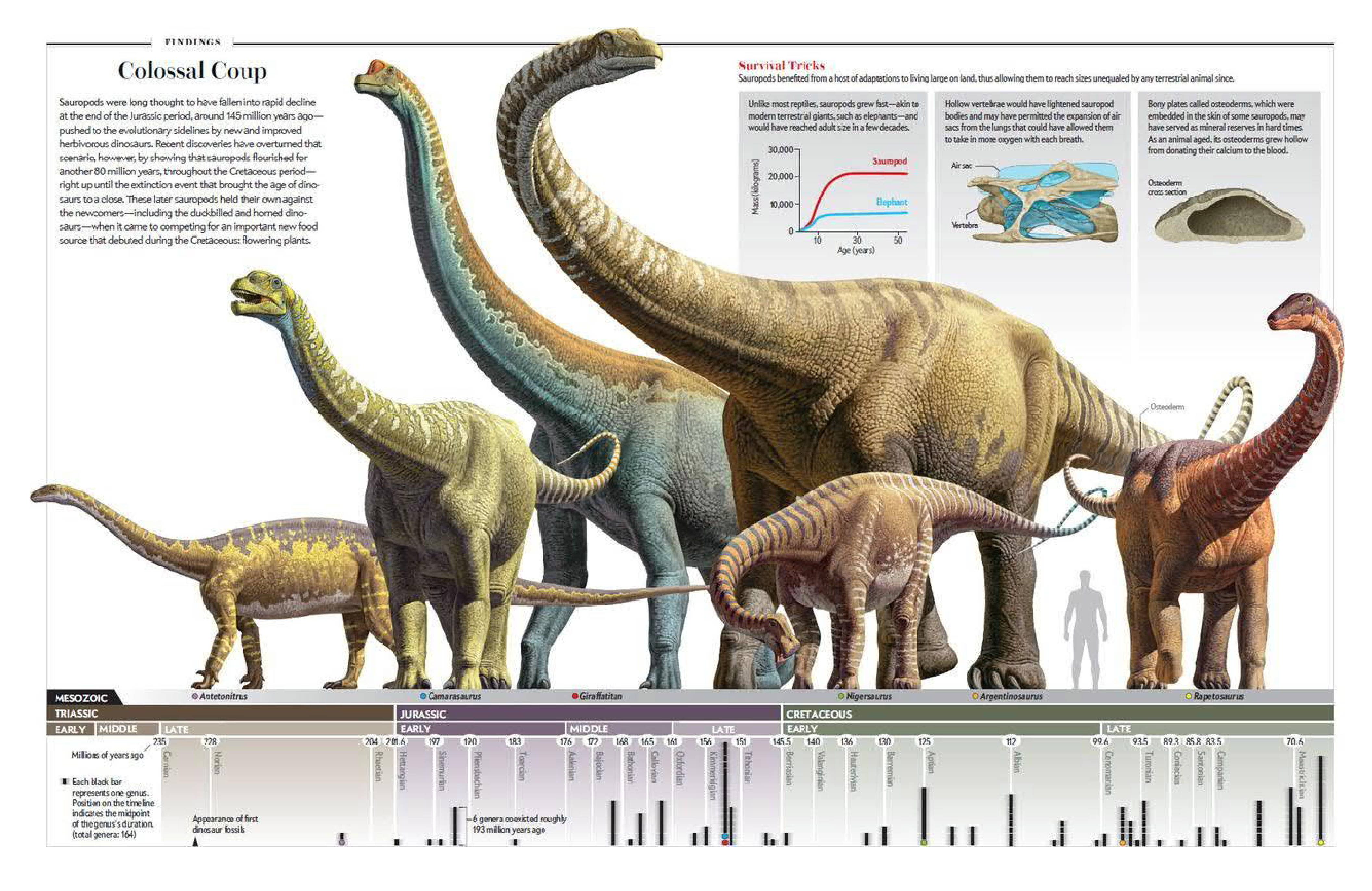
دعامتان تحت الذيل للدبلودُكس منهما استمد اسمه الذي يعني ذو الدعامتين



الصورة ١٢– ٢١ رأس ديناصور ذي أرجل شبيهة بالخاصة بالسحلية sauropod من الرتيبة Macronaria، النوع Camarasaurus. يصعُب اختبار أي فرضية بخصوص وظيفة مثل ذينك المنخارين الضخمين.




Diplodocus
Late Jurassic;
North America
Nigersaurus
Early Cretaceous;
Africa
Rebbachisaurus
Late Cretaceous;
North Africa
Dicraeosaurus
Late Jurassic;
Africa
Brontosaurus
Late Jurassic;
North America
Apatosaurus
Late Jurassic;
North America
Amargasaurus
Early Cretaceous;
South America
©Udo M. Savalli
Tambatitanis
Early Cretaceous;
Japan
Camarasaurus
Late Jurassic;
North America
Huanghetitan
Early Cretaceous;
China
Europasaurus
Late Jurassic;
Europe
Euhelopus
Early
Cretaceous;
China
Brachiosaurus
Late Jurassic;
North America
Giraffatitan
Late Jurassic;
Africa
Daxiatitan
Early Cretaceous;
China
©Udo M. Savalli
Argentinosaurus
Late Cretaceous;
South America
Isisaurus
Late Cretaceous;
India
Saltasaurus
Late Cretaceous;
South America
Andesaurus
Late Cretaceous;
South America
Agustinia
Early Cretaceous;
South America
Lirainosaurus
Late Cretaceous;
Europe
Alamosaurus
Late Cretaceous;
North America
Ampelosaurus
Late Cretaceous;
Europe
©Udo M. Savalli



ذوات الأقدام الشبيهة بالخاصة بالسحلية Sauropods

بيولوجية الديناصورات: الحياة عند الكائنات ذوات الحجم الضخم

هناك ديناصورات صغيرة الأحجام، فالنوع Compsognathus [يعني اسمه ذو الفكين الرائعين] كان بحجم الدجاجة كمثال. لكن السمة السائدة للديناصورات _والجانب السائد لبيولُجِيَّتها_ ينبغي أن تكون كبر الحجم الخاص بأكبرها حجمًا. إن ذوات الورك الشبيه بالخاص بالطيور أسهل فهمًا من الرتب الأخرى لأنها كانت نباتية في متوسط الخمسة أطنان، فلعلها قابلة للمقارنة مع الأفيال أو وحيدات القرن الحية المعاصرة. رغم ذلك، فلا توجد لواحم [مفترِسات] تزن خمسة أطنان حية اليوم على البر لكي نستطيع مقارنتها مع carnosaurs [فصيلة تتضمن الألوسوريات والجيجانتسوريات والتيرانويتيتانيات Giganotosaurus and Tyrannotitan تتسم بأعين كبيرة ورؤوس كبيرة طويلة ضيقة وأسنان كبيرة وذيل صلب وعظام فخذ معدلة أطول من عظام السيقان] مثل Tyrannosaurus [التيرانوسور، الديناصور الجبار أو ملك الزواحف المستبد]، ولا تجد آكلات نباتات تزن خمسين طنًّا حية نستطيع مقارنتها مع ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحلية sauropods. رغم ذلك، نستطيع القيام ببعض الاستدلالات العقلانية بخصوص بيولُجيَّة الديناصورات.

الديناصورات النباتية

الحيوانات التي تتغذى حصرًا على نظام غذائي نباتي لها دائمًا بكتيريا في أمعائها للمساعدة على تفكيك السليلوز. وللحيوانات الكبيرة الأحجام معدلات تمثيل غذائي أبطأ من الخاصة بالصغيرة الأحجام، وبالنسبة لآكلات النباتات فهذا يعني مرورًا أبطأ للطعام عبر الأمعاء ووقتًا أطول للتخمير. كبدائل اختيارية، تستطيع آكلات النباتات الكبيرة هضم نسبة صغيرة من طعامها وتعيش على علفٍ كثيرٍ أقلَّ جودةً. تطحن آكلات النباتات عادةً طعامَها جيدًا لكي يمكن هضمه أسرعَ، وهذا حُقِّقَ بطريقتين مختلفتين في المجموعتين الرئيسيتين للديناصورات النباتية، وهي ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischians وذوات القدم الشبيه بالسحلوي sauropods.

كان لذوات القدم الشبيه بالسحلوي sauropods رؤوسًا صغيرة جدًّا بالنسبة لأحجامها. هذا اعتُقِدَ أحيانًا أنه يدل على نظام غذائي من النباتات الطرية التي لم تكن تحتاج مضغًا كثيرًا. رغم ذلك، فقد امتلكت ذوات القدم الشبيه بالسحلوي sauropods على الأرجح رأسًا صغيرًا لنفس السبب الميكانيكي الخاص بالزراف؛ فالرأس يتموضع على طرف رقبة طويلة جدًّا. في كلا مجموعتي الحيوانات يُجْمَعُ الطعامُ عن طريق الفم والأسنان، ثم تُبتَلَع وتُطَرَّى بالماء لاحقًا.

الزراف حيوانات مجترة، وترتجع مضغات الطعام وتمضغها على مهلٍ بصفوف أسنان طاحنة [رحويّة] قويّة. استعملت ذوات القدم الشبيه بالسحلوي sauropods على الأرجح نظامًا مختلفًا لطحن الطعام. لقد امتلكت على الأرجح حوصلات [قوانص] قوية طُحِنَ فيها الطعامُ بين الصخور التي ابتلعتها الديناصورات. تبحث عن وتبتلع الطيور البريّة صخورًا رملية لمساعدتها على طحن الطعام، ويستطيع مزارعو الطيور الداجنة زيادة إنتاج البيض بإطعام دجاجهم الصخور الرملية. عُثِر على متحجرة لطائر الموا النيوزيلندي بها 2, 5 كجم من الصخور في منطقة المعدة. هناك حرفيًّا ملايين من حجارة الحوصلات الخاصة بالديناصورات أو الحصى المَعِدِيّة في صخور العصر الطباشيري في الجزء الغربي الداخلي من الولايات المتحدة الأمِركية. نسبة كبيرة منها متكونة من صخور صلبة جدًّا، غالبًا من صخور الشرت الملونة [الصوَّان، معدن كوارتز دقيق التبلور]. اقترح William Stokes الاقتراح الجذاب بأن الديناصورات بحثوا على وجه الخصوص عن الحصى الملون المستدير في قيعان الجداول لابتلاعها، مزوّدين أنفسَهم بصخور طحن صلبة جدًّا ذوات شكل مثالي. كانت الديناصورات أول الهواة الجامعين لعينات الحجارة المعدنية!

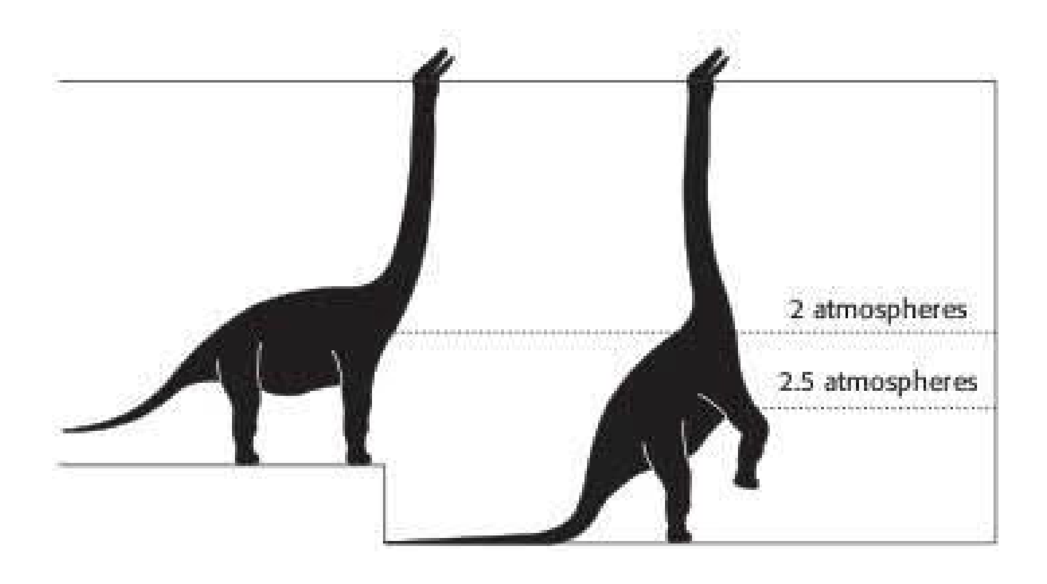
أما ذوات الورك الشبيه بورك الطير Ornithischians فكان لها عامةً أسنان رائعة مثيرة للإعجاب، خاصة في ذوات المنقار الشبيه بمنقار البط hadrosaurs وآكلات النباتات القرناء ceratopsians، وكانت تمضغ طعامَها تمامًا، كما تفعل الثدييات الحيّة المعاصرة. رغم ما قيل آنفًا، فهناك حجارة خاصة بالحواصل تترافق مع متحجرات الديناصور النباتي الأقرن ceratopsian الصغير الحجم Psittacosaurus [ذي المنقار الشبيه بالخاص بالببغاء].

لا يبدو أن جمع الطعام ومعالجته قد وضع مشكلاتٍ صعبةً على نحوٍ كافٍ لمنع الديناصورات النباتية من الوصول إلى أحجام ضخمة. تطورت الديناصورات لتكون أكبر بكثير من الفقاريَّات البريَّة الأخرى لأسبابٍ غير مرتبطة بالنظام الغذائي.

الوِقفة والموطن

نستطيع استعمال معارفنا عن آليات العظام والعضلات والأربطة لنفهم ونفسِّر الهياكل العظمية للديناصورات. كان لدى أوائل العاملين في المجال صعوبةٌ في الاقتراب من فهم وتفسير حجم الديناصورات، وهذا في معظمه بسبب أنهم لم يفعلوا الميكانيكيات [الآليات] الحيوية. بالتالي، كانت إعادات الإنشاء والتصور المبكرة تُظْهِر الديناصوراتِ جالسةً على الأشجار أو تقفز عاليًا في الهواء. في الواقع، لو كانت الديناصورات العملاقة فعلت ذلك لكانت كسرت بعضَ عظامها بفعل الصدمة حتى بعد سقطة صغيرة. وإعادات الإنشاء الأقدم تُظهر الديناصورات الكبيرة الأحجام بركب ومرافق [أكواع] منحنية _عادةً قُرْبَ ماءٍ_ غير ملائمة على نحوٍ مساوٍ، لأنها قامت على مقارنة مع السحالي. فديناصور نباتي مغطى بالأشواك الصفيحية العظمية stegosaur ذو وزن خمس أطنان، وعلى الأخص وديناصور ذو أرجل شبيه بأرجل السحالي sauropod ذو وزن خمسين طنًّا يجب أنه كان ذا أطراف منتصبة لدعم وزنه، مثل الأفيال أو وحيدات القرن وليس السحالي.

العاملون الأولون في المجال ممن شكوا في أن ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي sauropods كانت ستواجه صعوبةً في دعم أوزانها بأطراف منحنية، اقترحوا أنها بدلًا من ذلك قضت معظم حيواتها في المستنقعات، طافيةً عن طريق الماء. وفسروا الرقاب الطويلة على أنها أنابيب تنفس طويلة تحت الماء (الشكل ١٢– ٢٢). حتى العصر الحالي، تُظهِر كثير من رسومات الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي ماءً بجوارها. إن فكرة أنابيب التنفس غير مرجَّحة للغاية؛ ففي أي عمق للماء، كان الضغط سيكون كبيرًا على نحوٍ كافٍ لمنع القفص الصدري من التمدد، وكان الديناصور ذو الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي سيختنق. ينبغي تصور كل الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي sauropods ومعظم الديناصورات على أنها عاشت في سهول أكثر جفافًا. وأيضًا لم تعش الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بمنقار البطة في الماء، فلفكوكها صفوف أسنان ضخمة ذوات أسطح طحن كبيرة، وقد أكلت النباتات الخشنة في البلدان الجافة.



الصورة ١٢– ٢٢ لا يمكن أن تكون الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي Sauropods استعملت رقابَها كأنابيبِ تنفسٍ. كان ضغط الماء على القفص الصدري سيمنعه من التمدد، وكان الديناصور ذو الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي سيختنق.

سلوكيات الديناصورات

يمكن تقرير ومعرفة سلوك الديناصورات من خلال آثار أقدامها. كمثالٍ؛ اكتُشِف أثرٌ لفرار جماعي لديناصورات نباتية (الصورة ١٢– ٢٣). حيث تحمل صخور متموضعة منذ ٩٠ مليون سنة ماضية كرواسب قرب شاطئ بحيرة قديمة من العصر الطباشيري في كوينزلاند Queensland في أستراليا آثار سير ديناصور لاحم من رتبة carnosaur كان يتوجه باتجاه البحيرة بخطوات كان طول كلٍّ منها مترين. يتداخل مع هذا المسار آلافُ آثارِ الأقدام الصغيرة التي صنعتها وخلَّفَتْها ديناصورات صغيرة سائرة على قدمين خفيفة البنية، كانت تجري خارجة من عند قاع البحيرة بعيدًا عن الماء. لقد أُميط التراب حتى الآن عن أكثر من ٣ آلاف أثر قدم، تُظْهِر كل علامات الفرار الجماعي المرعوب. لقد كان هناك مئتا فرد حيوان على الأقل ينتميان إلى نوعين مختلفين يفرَّان جماعيًّا. أحد النوعين _على الأرجح كان من رتبة اللواحم ذوات الفقرات الذيلية الجوفاء coelurosaur، كان وزن الواحد منها يصل إلى حوالي ٤٠ كجم، وكان النوع الآخر على الأرجح ديناصورًا نباتيا ذا أرجل شبيهة بأرجل الطير ornithopod وكان أكبر حجمًا بضعفين من النوع الأول. ترك الصغار والبالغين من كلا النوعين آثار أصابع عميقة بينما كانوا يحاولون الإسراع. تفتقد ٩٩% من آثار الأقدام علامات عقب القدم. تُظهِر آثار الأقدام تزلقًا وخربشة وتزحلقًا، وكان النوع الأصغر في العادة يتجنب مسارات النوع الأكبر. لا بد أنها حوصِرت عند شاطئ البحيرة، وفرت في مجموعة مرتعِبة.

تلقي آثار الفرار الجماعي الضوء على الإيكولوجِيَّة [طرق الاعتياش والعلاقات بين الأنواع] وكذلك على السلوكيات، فتخبرنا أن بعض الديناصورات على الأقل تجمعت في قطعان وتصرفت كما تتصرف حيوانات السهول الأفريقية في العصر الحالي عند برك المياه الضحلة في السافانا، حيث تستجيب فوريًّا وغريزيًّا لاقتراب المفترِسات الخطيرة.



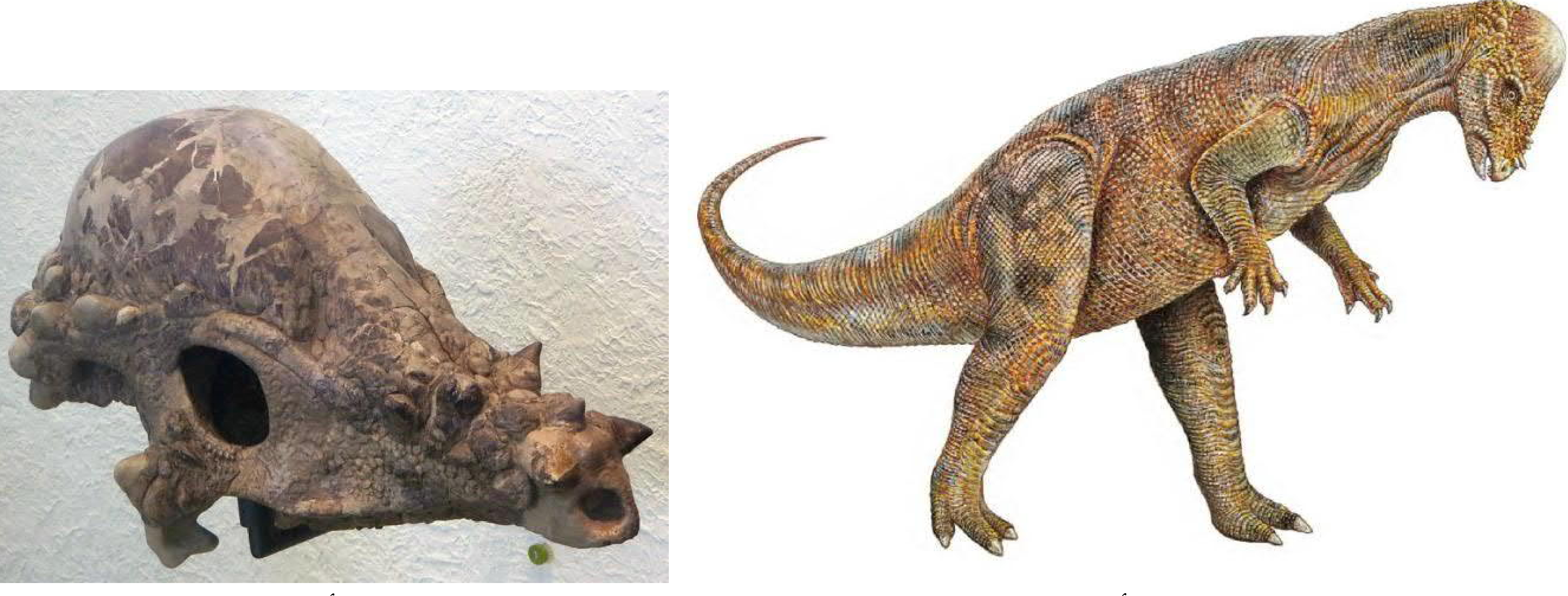


الصورة ١٢– ٢٣ فرار جماعي لديناصورات في صخور العصر الطباشيري في كوينزلاند في أستراليا. مشى أو تسلل خلسة ديناصور لاحم سائر على أربع theropod [على الأرجح من رتيبة carnosaur] من اليسار إلى اليمين على طول قاع جون [خليج] قديم باتجاه جدول ضحل. آلاف من آثار الأقدام الصغيرة صنعتها الديناصورات الصغيرة الحجم التي كانت هاربة كلها جماعيًا في الاتجاه الآخر، عبر وفوق مسارات ديناصور من رتيبة كارنوسور carnosaur شق طريقه نازلًا في الجدول. الآثار محفوظة في متحف كوينزلاند Queensland في أستراليا.

آثار سير من العصر الجوارسي الوسيط فيما هو حاليًا بريطانيا توثّق لوجود مجموعة من التيتانوسورات titanosaurs [الديناصورات العملاقة] كانت مسافرةً في جماعة. وهي فكرة سليمة، لأن آثار سير تلك الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين [رتبة theropods] توجد على نفس الطبقة!

دلائل أخرى على سلوكيات الديناصورات محفوظة في الهياكل العظمية للديناصورات. فالديناصور ذو الورك الشبيه بالطيري [رتبة ornithischian] من النوع Pachycephalosaurus [الديناصور سميك الرأس مدرعها] كان له منطقة على شكل قبة من العظام فوق قمة جمجمته (الصورة ١٢– ٢٤). لم

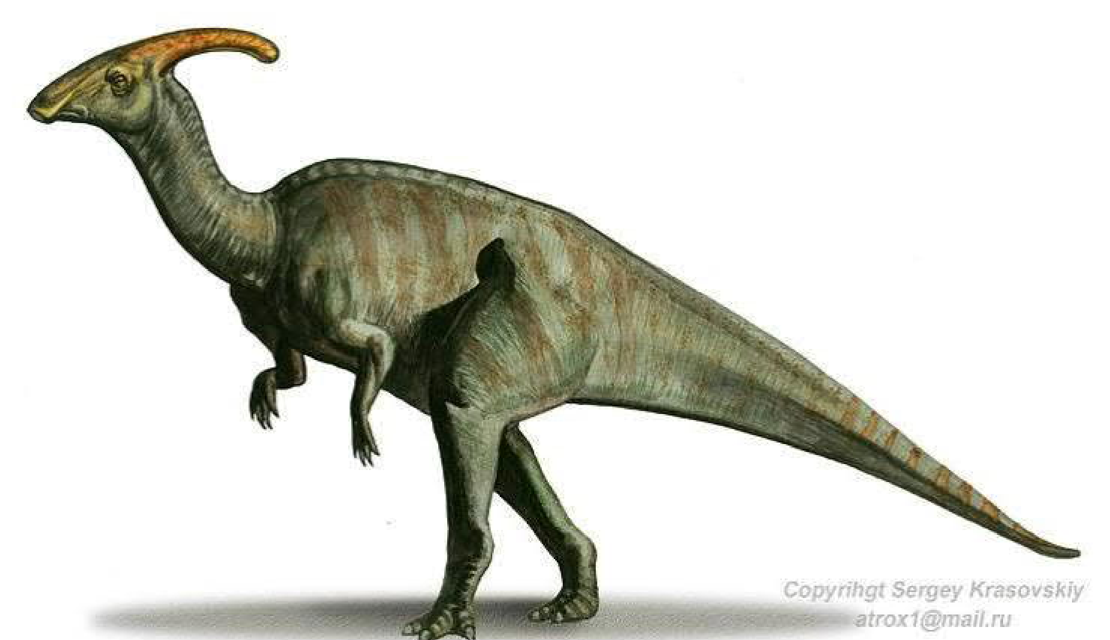
تكن عظمةً مصمتة بل بها فجوات تهوية، وذات بنية شبيه جدًّا بالموجودة في جمام الخراف والجداء التي تتصارع بمناطحة رؤوس بعضها البعض. هل قام Pachycephalosaurus [الديناصور سميك الرأس مدرعها] بذلك؟ لقد كان يزن ١١ ضعف وزن خروف كبير الحجم، لذلك فإن أحدث تفسير لبيولُجيَّة ذلك الديناصور هو أنه كان ينطح أعداءه ومنافسيه على الأرجح من الجانب عوضًا عن تناطح الرؤوس. رغم ذلك، كان للديناصور النباتي الأقرن من نوع Triceratops [ذي الثلاثة قرون] أيضًا وديناصورات نباتية قرناء أخرى ceratopsians فراغات هوائية بين قرونها وفي قِحْف الجمجمة [صندوق الدماغ]، مما قد يدل على أنها تنافست بتصادمات رأس لرأس مباشرة.



الصورة ١٢– ٢٤ جمجمة الديناصور ذي الرأس الشبيه بالقبة Pachycephalosaurus، عينة معروضة في المتحف الأمركي للتاريخ الطبيعي

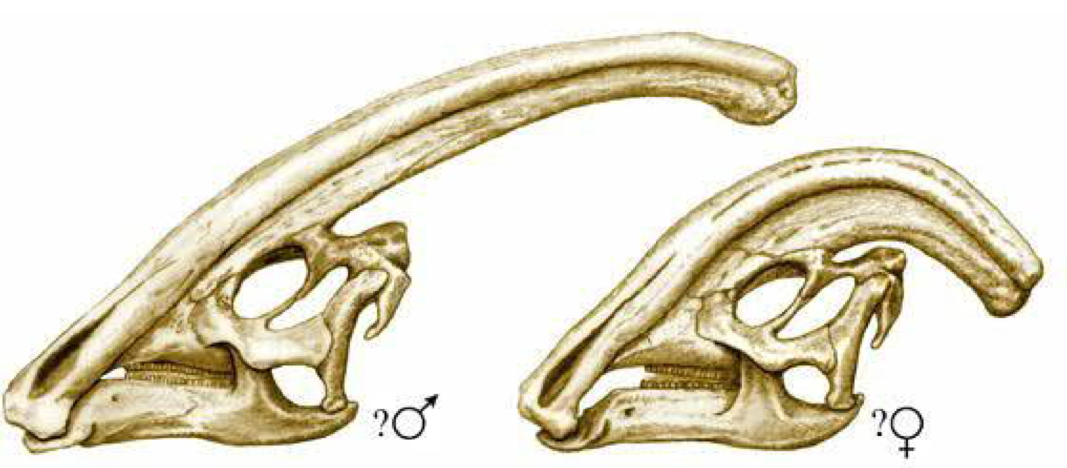
امتلكت بعض الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بمنقار البطة hadrosaurs عُرفًا ضخمًا فوق الرأس (الصورة ١٢– ٢٥). لم تكن الأعراف صلبةً بل تحتوي على قنواتٍ تمتد إلى الأعلى من عند المنخارين وتنزلان إلى سقف الفم (الصورة ١٢– ٢٦). كانت الذكور الكبيرة الأحجام فقط تمتلك أعرافًا كبيرة؛ وامتلكت الإناث أعرافًا أصغر، ولم يمتلك الأطفال أيةَ عُرْفٍ على الإطلاق. لا يُرَجَّح أن القنوات قد تطورت لأجل تنفس إضافي أو تنظيم درجة حرارة الجسد، فلو كان الأمر كذلك لكان البالغون سيحتاجون قنواتٍ كبيرة سواء كانوا ذكورًا أم إناثًا. عندما أعيدَ إنشاءُ القنواتِ بدت مثل أبواق القرون الوسطى وأمكن النفخ فيها لإعطاء نغمة (الصورة ١٢– ٢٦). تمكننا الأحجام المختلفة المتنوعة للأعراف من استنتاج الاختلافات بين الأصوات التي يُحدِثها الصغار والإناث البالغات والذكور البالغين، والتي كانت تنسجم مع الإشارات البصريّة المختلفة التي قدَّمَتْها الأعرافُ. لعل تلك الديناصورات ذوات المناقير الشبيهة بمنقار البطة hadrosaurs كان لها نظام اجتماعي معقَّد متطور، ربما بنفس التعقيد الذي نُسلِّم به لبعض مجتمعات الثدييات والطيور.


shutterstock
www.shutterstock.com · 27258280


Copyrihgt Sergey Krasovskiy
atrox1@mail.ru

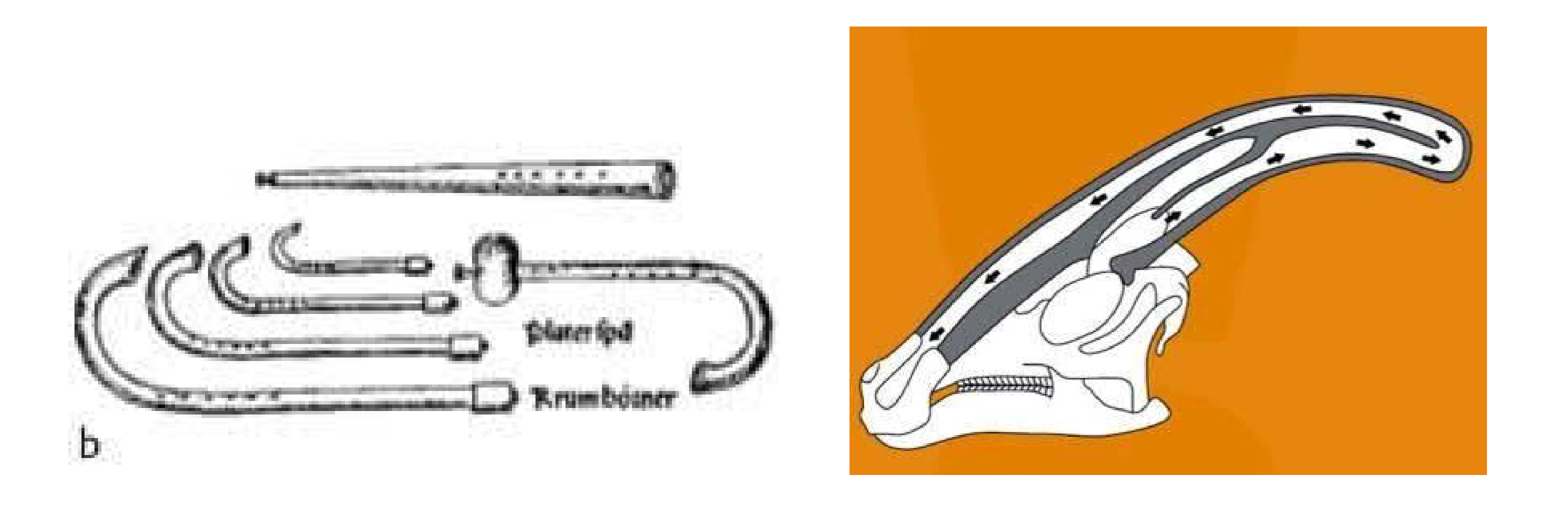

허니문에어텔닷컴

XNcreative.com

Encyclopédie Encarta, Dorling Kindersley

?♂
?♀



متحجرات وإعادات إنشاء وتصور لذكر الديناصور Parasaurolophus [يعني اسمه ذو العُرْف] ذي العرف الضخم فوق رأسه.



الصورة ١٢– ٢٦ (أ) مقطع عرضي من عرف ديناصور Parasaurolophus [ذي العُرف] يُظْهِر أنه يحمل قنوات مجوفة كانت جزءًا من جهاز المنخار. تلتقي القناتان اليمنى واليسرى من كل منخار عند تجويف مركزي فوق سطح الفم. كان للإناث والصغار أعراف أصغر أو لم يكن لهم على الإطلاق. (ب) أدوات موسيقية جرمانية [ألمانية] مشابهة جدًّا للممرات الهوائية الخاصة بديناصور Parasaurolophus ذكر بالغ.

بيض وعشش الديناصورات

لقد قيم باكتشافات كبير لبيض ديناصورات متحجر وأعشاش متحجرة (كالصورتين ١٢– ٢٧) في صخور العصر الطباشيري في مُنْتانا Montana وأَلْبِرْتا Alberta ومنغوليا وإسبانيا والأرجنتين. لدينا حاليًّا في المتاحف بيض من كل الثلاث مجموعات الخاصة بالديناصورات.

أعشاش ديناصورات ولاية مُنتانا هي تجاويف مُنْشَأة من طين أو رمل ومحشوّة بالنباتات. في كل عش وُضِعَ البيضُ أو نُظِّم في نمطٍ مُحْكَمٍ بحيث لا يتدحرج هنا وهناك. أجنة الديناصورات محفوظة كمتحجرات في بعض الأعشاش. الكثير من الأعشاش متجمعة معًا على مسافات فاصلة متقاربة منتظمة، مما يقترح أنها كانت في أراضي تكاثر أو تفقيس اشتراكية [لكل أفراد المجموعة]، إن أردتَ تستطيع القولَ مستعمرات تعشيش. في بعض الأحيان أعيد تشكيل وأعيد استعمال الأعشاش، ربما في المواسم المتتالية. تفعل الكثير من الطيور الكبيرة الأحجام الطويلة الأعمار هذا في العصر الحالي، بما فيها الصقور حمراء الذيل القاطنة في شجرة الصنوبر الخاصة بي.



الصورة ١٢– ٧ بيض الديناصورات. صورة تكرم بها المتحف الأمرِكيُّ للتاريخ الطبيعي. صورها Shackelford، نيجاتيف رقم ٤١٠٧٦٥.



بيض للديناصور oviraptor [المفترِس الحاضن بيضه في عشه]

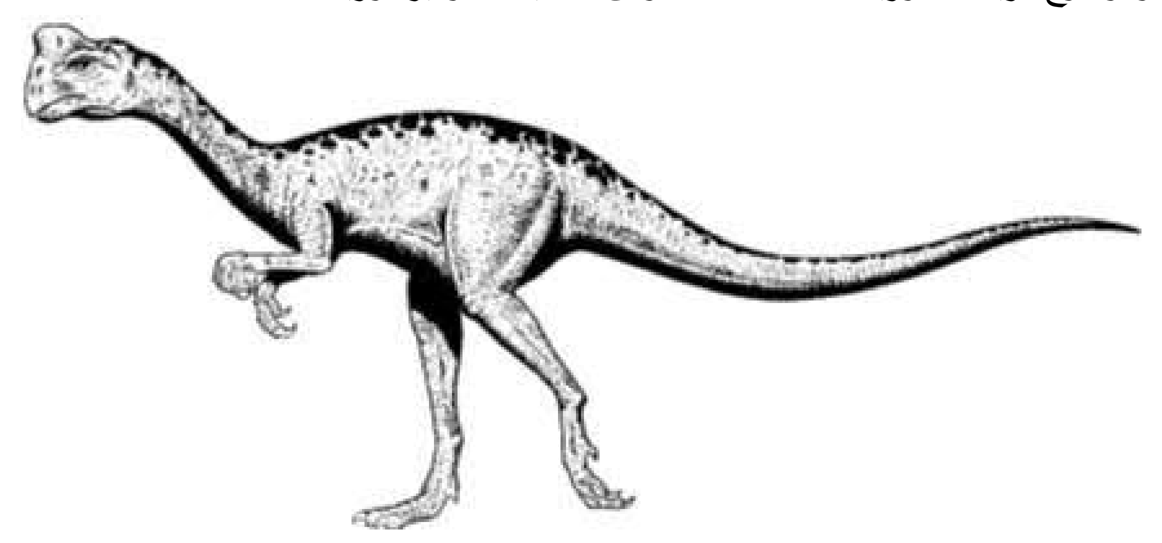
هناك أدلة جيدة قوية على رعاية أبوية طويلة الزمن من جانب الديناصورات. احتوى أحد الأعشاش من مُنْتانا على ١٥ ديناصورًا ذا منقار شبيه بمنقار بالبطة طفلًا. نعرف أن أولئك الديناصورات الأطفال لم يكونوا مفقوسين حديثًا لأنهم كانوا ضعف حجم قشر البيض المعثور عليه بالجوار، ولأن أسنانهم كانت قد استُعمِلَت على نحو طويل بدرجة كافية لتظهر عليها علامات بلَى. لكنهم كانوا معًا في العش عندما ماتوا ودُفِنُوا وتحجروا، مع بالغ(ة) بجوارهم، Maiasaura "الأم الصالحة أو الحنون الديناصورة".

هذا الفهم والتفسير قد تُحُدِّيَ على أساس أن الديناصورات المفقوسة كانت تخرج ذوات أطراف وحوض متنميين جيدًا، بما يدل على أنها كانت قادرة على التحرك هنا وهناك حالما تفقس. بالتالي فحسب هذه الحجة، فهي لم تتلقَ أي رعاية أبوية. هذه الحجة [أو الجدلية] لا تصلح بالتأكيد. فرغم اختلاف حجم الجسد بشدة، تفقس طيور الحجل عددًا من الأفراخ، والتي يأخذها أحد الشريكين في رحلات من العش للبحث عن الطعام بُعَيْدَ فقسها بقليل جدًّا. ويُدير النعامُ نوعًا من نظام الحضانة أو رياض الأطفال لرعاية الأطفال المرتعين الباحثين عن الطعام.

وُجِدَ بيضٌ وأعشاشٌ للديناصورات في منغوليا في عشرينيات القرن العشرين (١٩٢٠ات). لقد رُبِطتْ ذهنيًا على نحو تلقائي مع أكثر متحجرات الديناصورات وفرةً في المنطقة، وهو الديناصور النباتي ذو القرون الأولية البدائية Protoceratops [يعني اسمه أول رأس ذي قرون]. ومما فاجأ الجميع،

أنه عندما اكتُشِفَ جنينٌ آخر الأمر داخل إحدى البيضات، كان محفوظًا بالتحجر على نحو جيد كفايةً للتعرف عليه ليس على أنه Protoceratops، بل على أنه جنين ديناصور Oviraptor [نترجم اسمه على أنه يعني المفترِس الحاضن بيضه] الضئيل اللاحم السائر على قدمين [من الرتبة theropod] (الصورة ١٢– ٨). الأمر الساخر هنا أنه كان قد تُعُرِّف على Oviraptor بالغ وسُمِّيَ على أساس أنه سارق أعشاش آكل بيض، كان يفترس بيض الـ Protoceratopsالبريء!. [ملاحظة: معنى الاسم اللاتيني العلمي Oviraptor الذي لا يزال يحمله النوع حامل اسمه هو المفترسِ السارق البيض، لكني غيرتُ معنى الاسم في الترجمة بما يناسب الصواب إلى المفترِس الحاضن بيضه].

اتضح أن كتلةً من الحجارة في منغوليا في عام ١٩٩٣ تحتوي على Oviraptor كان قد دُفِنَ في عاصفة رملية بينما كان جاثمًا فوق عشٍ لبيض Oviraptor (الصورة ١٢– ٢٩). التفسير الوحيد العقلاني المعقول لهذا الاكتشاف هو أن ذلك الديناصور يحضن [يرقد على] بيضه، تمامًا كما تفعل معظم الطيور الحية المعاصرة. وبحلول ١٩٩٦م، كانت قد اكتُشِفَت ثلاث عينات من السبعة المعروفة حاليًّا لبالغي Oviraptor [لمفترِس الحاضن بيضه، كما أترجمها كرد اعتبار وشرف!] كلٌ منها فوق أو قرب عش. [ملاحظة من المترجم وفق آخر تطورات علم التصنيف والاكتشافات: أو على وجه الدقة Citipati osmolskae سيتباتي وهو نوع قريب تطوريًّا لـ Oviraptor ومن فصيلة الأوڤيرابتوريّات oviraptorid, Oviraptoridae]



الصورة ١٢– ٢٨ Oviraptor، سُمِيّ على نحو خاطئ على أنه سارق بيض، بينما كان في الحقيقة يبني ويحرس أعشاشه وبيضه الخاص به.



الصورة ١٢– ٢٩ الصورة ١٢– ٢٩ Oviraptor [أو على وجه الدقة Citipati osmolskae سيتباتي وهو نوع قريب تطوريًّا لـ Oviraptor ومن فصيلة الأوڤيرابتوريّات oviraptorid, Oviraptoridae] بالغ وُجِد متحجرًا في وضع يحمي فيه أو يحضن عشه المليء بالبيض، من صخور العصر الطباشيري في منغوليا. وسيتباتي هو إله تبتي في بودية الڤاجريانا يعتقد أنه على شكل هيكلين عظميين لراهبين قتلهما لص أثناء انشغالهما بالتأمل البودي وصارا إلهين يحميان المقابر وأقسما أن ينتقما من ذلك اللص وأي لص أو مجرم، لكن قدرتهما في ذلك لا تتجاوز اللصوص والمجرمين الذين يمرون بجوار المقابر حسب الأسطورة، ومنه أعطيت المتحجرة اسمها.

بالتالي، من جهة أوضاعها وإعادة بناء [استرجاع وتصور] سلوكياتها، بما في ذلك الرعاية الأبوية والبنية الاجتماعية المعقدة والذكاء (المستلزَم لإدارة مجتمع معقد)، فإنه ينبغي مقارنة الديناصورات ليس مع الزواحف الحية المعاصرة، بل مع الثدييات والطيور الحية المعاصرة.

إن الثدييات والطيور حارة الدماء، ذوات معدلات تمثيل غذائي [أيض] عالٍ، وهي أذكى بكثير من الفقاريَّات الحية الأخرى. لكنْ هل تنطبق هذه الصفات على الديناصورات؟ يُصاغ السؤال عادةً بعبارة: "هل كانت الديناصورات حارة الدماء؟". إن الجدال شديد ومثير للاهتمام، وهو لم يُحَلَّ بعدُ.

هل كانت الديناصورات حارة الدماء؟

هناك جوانب عديدة لهذا السؤال. أولًا، ما معنى "حارة الدماء"؟ هل تحكمت الديناصورات في حرارة أجسادها بدقة وتمامًا؟ بمعنى: هل كانت ثابتة درجة حرارة الجسد، أم كانت متغيرة درجة حرارة الجسد، سامحةً لدرجة حرارة أجسادها بالتغير على نحو متسع جدًّا، بناءً على احتياجاتها؟ وهل كانت ذاتية تنظيم درجة حرارة أجسادها داخليًّا، بمعنى هل أحدَثَتْ درجة حرارة جسدية عالية بتوليد كثيرٍ من حرارة التمثيل الغذائي، رافعةً بذاك ميزانية أو مقدار الطاقة الكليَّة؟ أم هل كانت منظمة لدرجة حرارة أجسادها بالاعتماد على عوامل البيئة الخارجية، متحكِّمةً بدرجة حرارة أجسادها على نحو رئيسي عن طريق السلوكيات بالاستعمال الذكي لأشعة الشمس والظل والمأوى ومستوى النشاط وما شابَهَ؟ ولو كانت ثابتة درجة حرارة الأجساد، فهل تحكمت بدرجة حرارة أجسادها عند مستوى أعلى بكثير من متوسط درجة حرارة بيئتها، لنقل مثلًا عند ٣٤- ٤٠ درجة مئوية (٩٥- ١٠٤ فهرنهايت)، مثل معظم الثدييات والطيور؟ أم عند مستوى منخفض، لنقل مثلًا ٣٠ درجة مئوية (٨٦ فهرنهايت)، أشبه بالبلاتيبوس [منقار البطة، ثديي أولي بيوض] والقنفذ؟ أم عند درجة حرارة أدنى من ذلك بكثير، غير أدفأ البتةَ من متوسط درجة حرارة موطن استوائي، لنقل ٢٧ درجة مئوية (٨١ فهرنهايت)؟ تأتي مع الإجابات المختلفة لهذه الأسئلة تقديرات مختلفة لمستوى التمثيل الغذائي وقت الراحة [مقدار ما يحرقه الجسد من سعرات حرارية وقت راحته]، ومُخرَجات أو إنتاج الطاقة ومستوى نشاط الديناصورات. هل كانت قابلة للمقارنة مع الأفيال أو النعام أو الأسود، أم أشبه بالزواحف الحية المعاصرة، أم غير مشابهة لكل ما سلف؟ وهل كانت كل الديناصورات متشابهة في فسيولُجِيَّتها؟

لا نزال في عملية تعليم الاختلافات بين الزواحف الحية والثدييات الحية. تستطيع أي خلايا خاصة بفقاريّ أن تُنْتِجَ طاقة عالية إن ظلت تُمَدُّ بالأُكْسُجِن والغذاء [عبر الدم]. بالتالي، فإن سر تطور تنظيم درجة حرارة الجسد عند مستويات عالية ومعدلات تمثيل غذائي وقت الراحة عالية يكمُنُ في الهندسة حول الخلايا وليس في كيميائها الحيوية. إن الجهازين التنفسي والدوري _اللذين ينقلانِ الأكسجِن والغذاء_ هما العاملان الحاسمان. كمثال، فإن قلوب الثدييات والزواحف الحية المعاصرة مختلفة جدًّا، وقد شرح David Carrier كيفية وسبب اختلاف أجهزتها التنفسية والحركية أيضًا (الفصل ١١).

لنفهم طبيعة الديناصورات، فإننا نحتاج أن نكون قادرين على إعادة بناء عمليتي الدورة الدموية والتنفس الخاصتين بهذه المتحجرات الفقارية، وكذلك آليات حركتها. إنه أمر غير سهل بالتأكيد، لكنه ذو إمكانية أفضل من محاولة استنتاج الكيمياء الحيوية الخاصة بخلاياها!

ثم هناك عامل إيكولُجي. فمهما كانت أفضليات معدل التمثيل الغذائي العالي وقت الراحة، فإن له تكلفةً: يجب أكلُ طعامٍ أكثرَ. فكلما ارتفع معدل التمثيل الغذائي، كَبُرَتْ التكلفةُ.

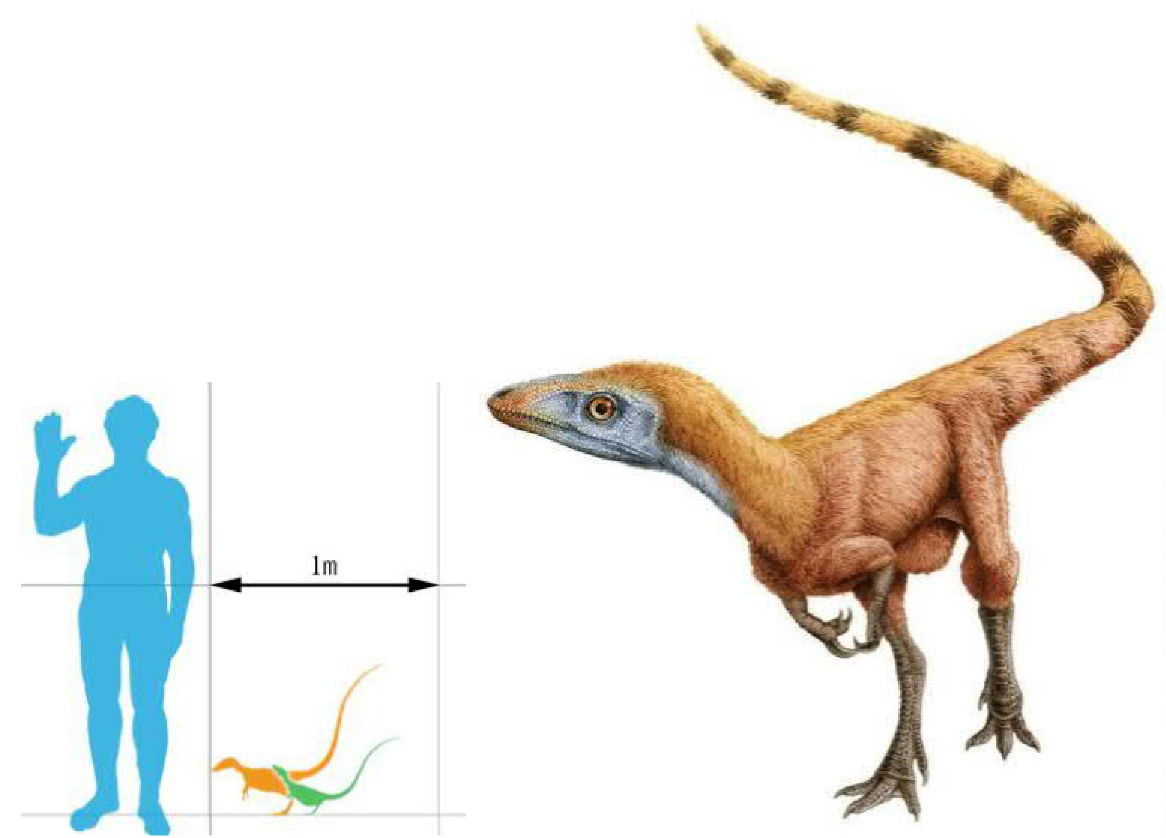
لقرابة ثلاثين عامًا، روَّج العاملون في المتحجرات المحترفون والهواة على السواء بتزايدٍ لكون الديناصورات كانت حارة الدماء، بما يحمل ذلك من دلالات ضمنية على مستوياتِ نشاطٍ عاليةٍ. تمثل رواية وفيلم حديقة العصر الجوارسي Jurassic Park أوجَ هذه الموجة الفكرية. لقد كان مؤلفها Michael Crichton متأثرًا كثيرًا جدًّا بعمل Ostrom و Robert Bakker، وقد رسَّخَ النجاحُ الهائل للفيلم بدوره الصورة الذهنية الشعبية للديناصورات. لكننا نحتاج النظرَ إلى الأدلة وليس مشهد فيلم.

ديناصورات ذوات ريش

لقد اعتُبِرَ الريشُ دائمًا تراكيب فريدة للطيور. في الحقيقة، لقد استُعْمِلَ لمئتي سنةٍ كإحدى أهم السمات المعرِّفة للطيور. أظهرَت الاكتشافاتُ الحديثةُ أن بعض الديناصورات أيضًا كان لها ريش أيضًا.

إن ستة ديناصورات لاحمة سائرة على قدمين theropods من طُبَيْقات العصر الطباشيري المبكر ذوات أهمية كبيرة لأنها محفوظة كمتحجراتٍ على نحوٍ جيد. لقد كان لـ Sinosauropteryx [الطائر الزاحفي الصيني] و Beipiaosaurus [زاحف مدينة Beipiao الصينية، حيث كان مكان اكتشافه قربها] هالة من تراكيب دقيقة جدًّا على سطح الجسد تبدو مثل الزَغَب [الريش الصغير النابت]. وكان لـ Protarchaeopteryx [تعني الطائر الذي قبل أركيوبتركس الطير العتيق، أو أقدم طائر] ريش زَغَبيٌّ على جسده وذيله ورجليه، وحزمة من ريشٍ طويل طوله عدة بوصات على شكل مروحة، عند طرف ذيله بالضبط. وكان لـ Caudipteryx [تعني مريَّش الذيل] أيضًا زَغَبٌ وريشٌ ذيليٌّ قويٌّ، لكن كان له ريشٌ على ذراعيه أيضًا. وهو أقصر باتجاه الأصابع وأطول باتجاه الكوع، على النقيض من الريش في أجنحة الطيور الطائرة. وختامًا، والأكثر أهميةً، كان لـ Microraptor [المفترِس الصغير، ويُعْرَف بالزاحف رباعي الأجنحة] و Sinornithosaurus [الزاحف الطائر الصيني الرباعي الأجنحة] ريش متفرع حقيقي على كل أطرافهما الأربعة والذيل.

كان Caudipteryx [مريش الذيل] وثيق الصلة بـ oviraptors [حاضن بيضه]، وكان Beipiaosaurus [زاحف مدينة Beipiao] ديناصورًا من فصيلة ذوات الأيدي منجلية الشكل therizinosaur. وكان Microraptor [المفترِس الصغير الرباعي الأجنحة] و [الزاحف الطائر الصيني الرباعي الأجنحة] Sinornithosaurus كلاهما ديناصورين عدَّائين dromaeosaurs. نستطيع استعمال هذه المعلوماتِ لتقدير كم الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods التي كان لها ريشٌ. انظر إلى المخطط التطوري في الشكل ١٢– ٨. لو أن الأوڤيرابتوريَّات oviraptors والديناصورات العدَّاءة dromaeosaurs والطيور لها ريش، ولو كان الريش تطور مرة واحدة (وهو ما يبدو حتميًّا تقريبًا، نظرًا لتعقيده)، فبالتالي ربما كان لكل الديناصورات الصائدة بالمخلب maniraptorans وربما للكثير بعدُ من الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين ريشٌ أيضًا.

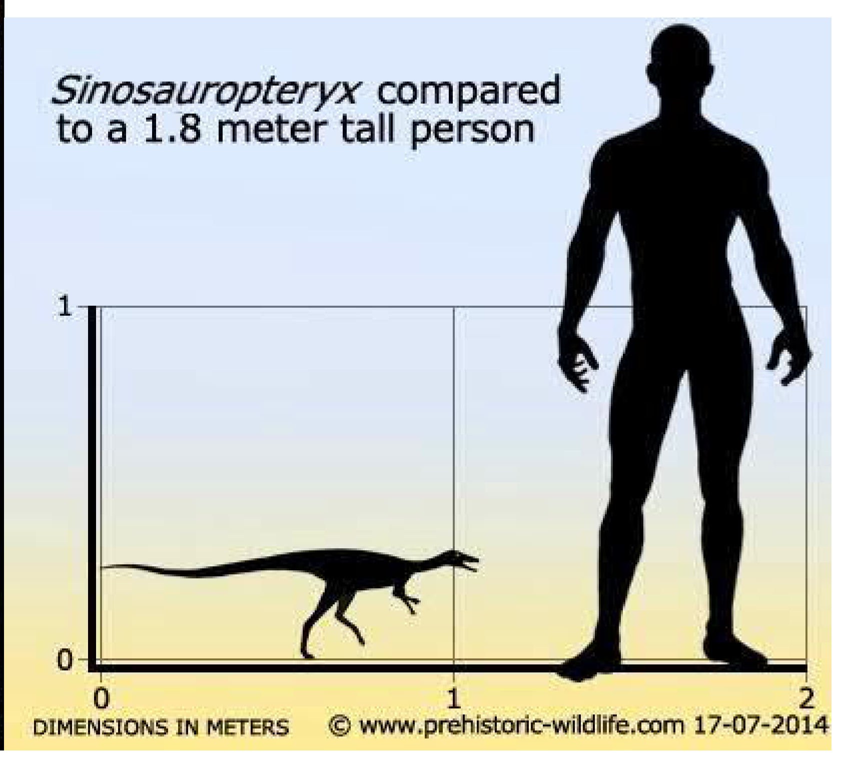




مقارنة حجم إنسان بحجمي Sinosauropteryx صغير وبالغ


127586




Sinosauropteryx compared
to a 1.8 meter tall person
1
0
0
1
2
DIMENSIONS IN METERS
© www.prehistoric-wildlife.com 17-07-2014







Sinosauropteryx [الطائر الزاحفي الصيني] كان يغطيه ريش بسيط جدا شبيه بالخييطيات أو الزغب، وهو من فصيلة compsognathid [ذوات الفكوك الرائعة]. الزغب محفوظ في متحجراته على النصف الخلفي من الدماغ والذراعين والرقبة والظهر وقمة وآخر الذيل ورقع أخرى على جانبي الجسد. كان ذا ذيل طويل وأطراف قصيرة على نحو غير معتاد، وكان صغير الحجم فأطول عينة معروفة منه طولها 1, 07 مترًا، ويقدر وزنها في حياتها بـ ٥٥٠ جرامًا. وقد عُثِر في بعض متحجراته على بنيوات يعتقد أنها جسيمات ميلاتونينية [وظيفتها كعُضَيَّات في الخلية الحية التلوين]، ويعتقَد أن ذيله كان مخطَّطًا.



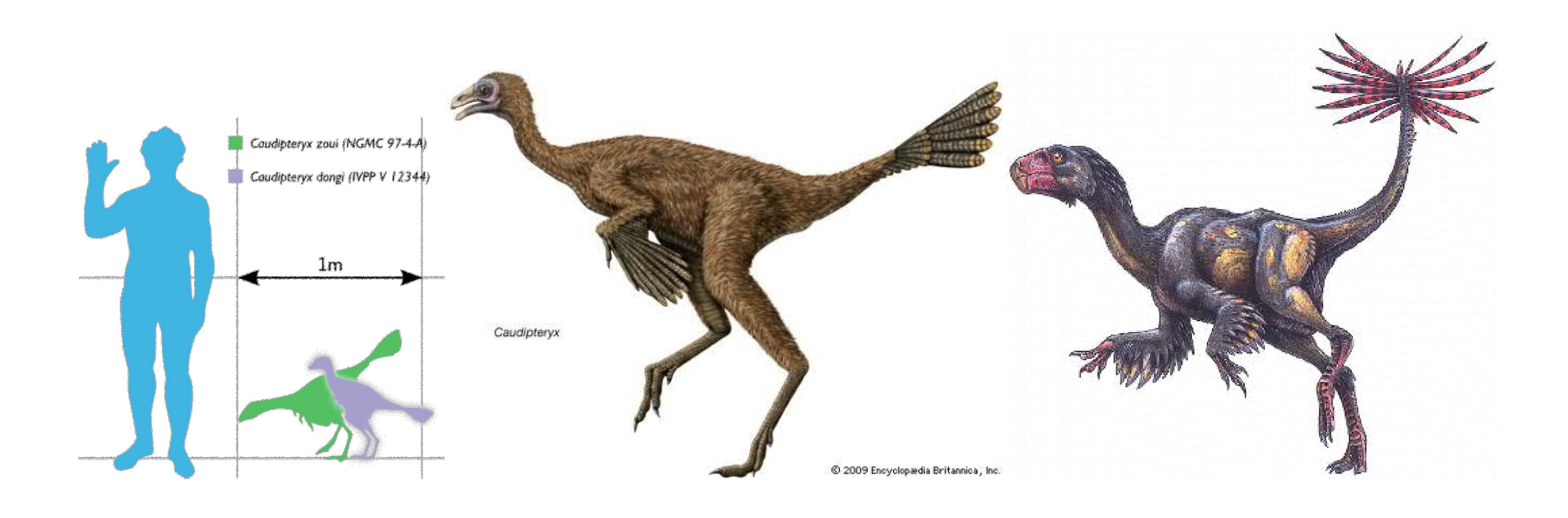


Beipiaosaurus [زاحف مدينة Beipiao الصينية] كان من فصيلة ذوات اليدين منجليتي الشكل Therizinosauroidea من رتبة الديناصورات الصائدة بالمخلب، وهو من ضمن أكبر الديناصورات المعروف أنها مغطاة بريش، فكان طوله 2,2 مترًا. كان له منقار بلا أسنان، وأسنان رحوية. كان رأسه كبيرًا مقارنةً بأنواع فصيلته، فكان الفك السفلي بطول عظمة فخذه تقريبًا. كان جسده مغطى بألياف شبيهة بالريش زَغَبيّة شبية بالخاصة بـ Sinosauropteryx لكنها أطول، ولم تكن تصلح للطيران عمومًا.





Protarchaeopteryx [تعني الطائر الذي قبل أركيوبتركس الطير العتيق، أو أقدم طائر] نوع في حجم الديك الرومي، من رتبة الأوڤيرابتوريات Oviraptorosaurs، ويعتبر أحد أكثرها بدائية وأولية، فرغم ترجيح أنه كان نباتيا أو قارتًا، فقد كان له يدان مشابهتان للخاصتين بالديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين الصغيرة الأحجام. كان له رجلان طويلتان ولعله كان راكضًا سريعًا. كان له ريش توجيه متطور جيدًا vaned feathers يمتد من ذيل قصير نسبيًا. وكانت يداه طويلتين نحيلتين، وبكل منهما ٣ أصابع ذوات مخالب حادة مقوسة. كانت عظامه جوفاء شبيهة بالخاصة بالطيور وكان له عظمة صدرية. كان أكبر حجمًا من الأركيوبتركس، وكان طوله حوالي متر، وكان له ريش متماثل الجانبين على ذيله وهو ما يدل مع البنية الهيكلية العظمية له على أنه لم يكن يستطيع الطيران والرفرفة، لكن ربما قفز كالمظلي بين الأشجار.



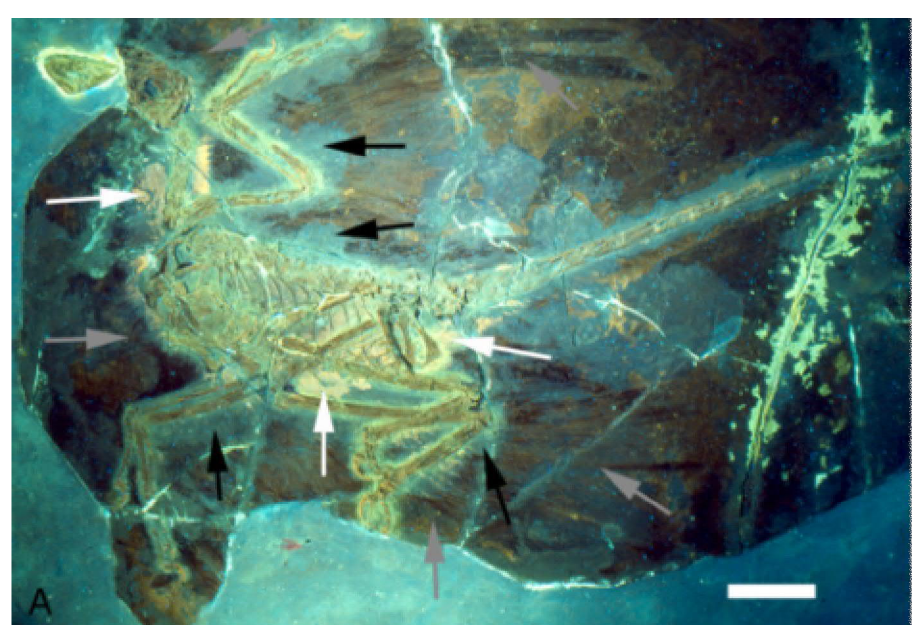


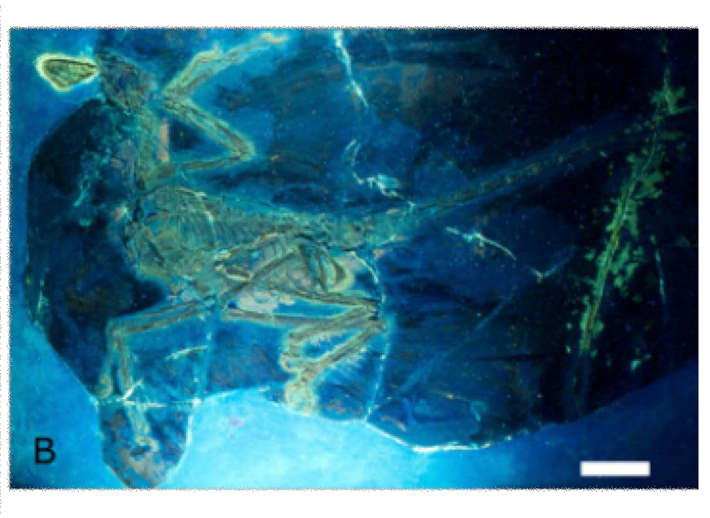


Caudipteryx [تعني مريَّش الذيل] نوع بحجم الطاووس من رتيبة الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين Theropoda، كان مريشًا وذا مظهر مجمل شبيه بالطيري على نحو ملحوظ. كان لديه خطم شبيه بالمنقار بلا أسنان ما عدا أسنانًا مستدقة قليلة في مقدمة الفك العلوي، وكان له جذع قوي ورجلان طويلتان. وذيل متصلب عند طرفه، ذيل ذو فقرات قليلة كما في الطيور وبعض الديناصورات من فصيلة الأوﭬيرابتريَّات Oviraptorosaurs، ومناسيب جسده كانت تشبه الخاصة بالطيور الغير طائرة المعاصرة، وكان ريشه قصيرًا ومتماثل الجانبين بما لا يسمح بطيران حقيقي.



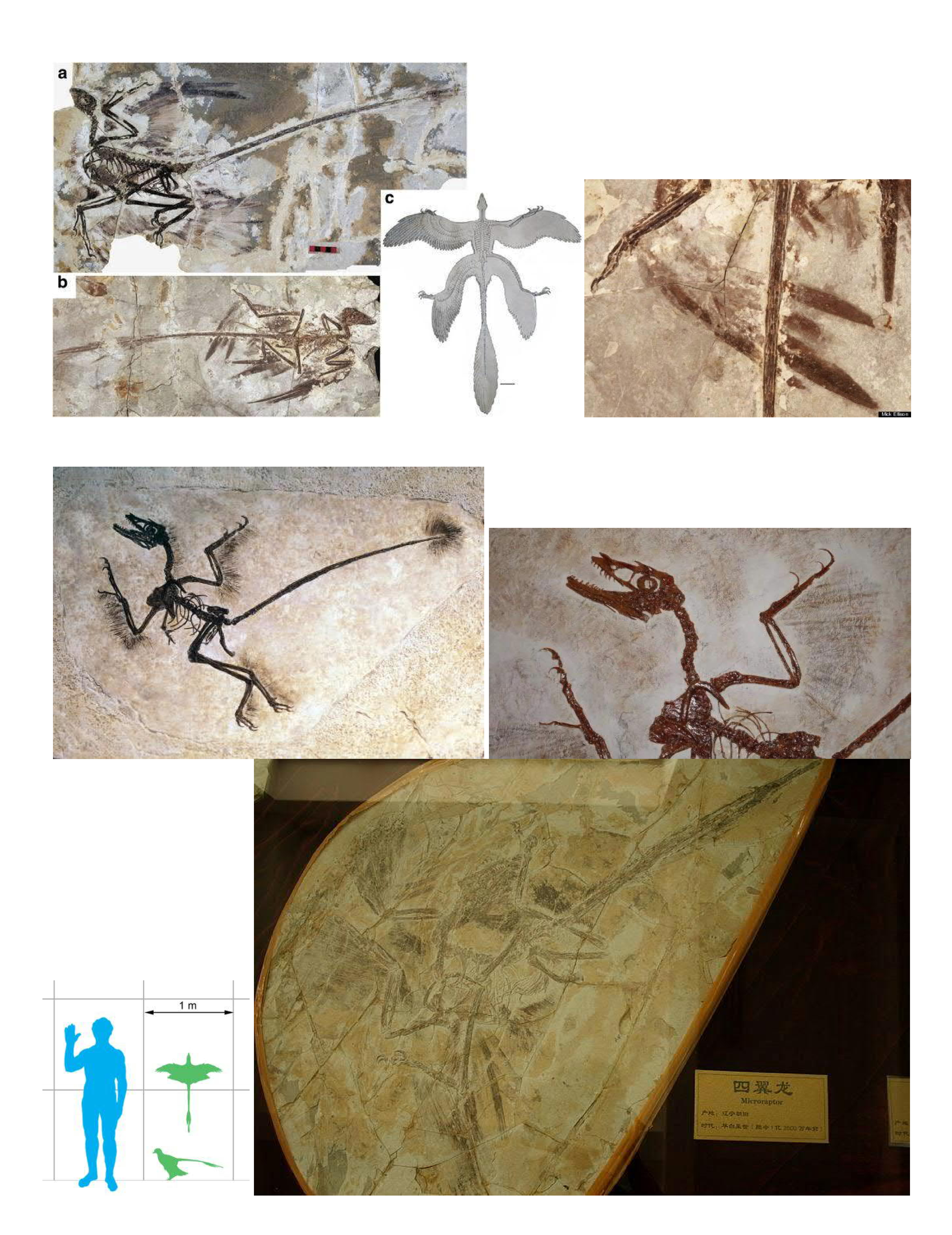






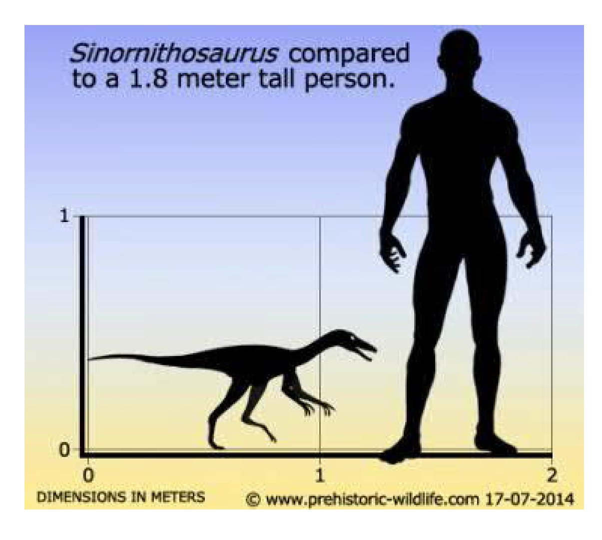
الريش كما يظهر تحت الأشعة فوق البنفسجية، جذوره قريبة من العظام كما في الطيور الحديثة

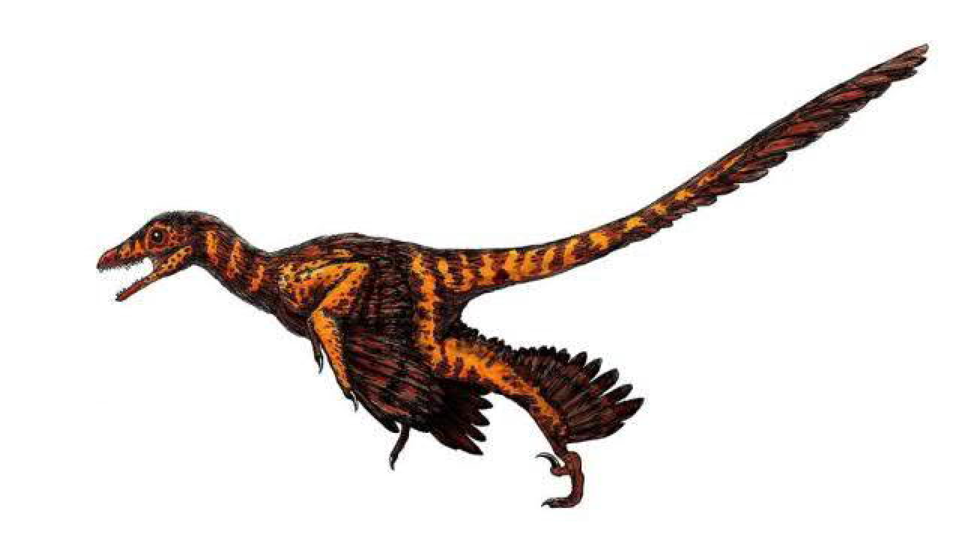



a
b
c
Mick Ellison
1 m
四翼龙
Microraptor

Microraptor [المفترِس الصغير، ويُعْرَف بالزاحف رباعي الأجنحة] ديناصور صغير الحجم شبه طائر، طار طيرانًا بدائيًا، كانت أطرافه الأربعة كلها وذيله مغطاة بريش خارجي. طول عينته البالغة ٧٧ سم ويقد وزنها وقت حياتها بحوالي ١ كجم، فهو من ضمن أصغر الديناصورات الغير طيرية المعروفة. وهو من البشائر الطيرية النادرة التي أنبتت ريشا على رجليها أيضًا مثل ذراعيها. كان يغطي جسده غطاء كثيف من الريش، وكان لذيله مروحة شبيهة بشكل الماسة في طرف ذيله ربما لإضافة ثبات أثناء الطيران. كان له ريش طويل على رأسه كبعض الطيور المعاصرة. ووجود أنماط في متحجراته من اللونين الفاتح والغامق قد يدل على أنه كان ملوَّنًا أثناء حياته، حيث فحص الجسيمات الميلانونينية melanosomes المتحجرة علماء صينيون بالميكروسكوب الإلكتروني الفاحص. كانت الجسيمات عصوية الشكل مصفوفة في ترتيب يتوافق مع نمط الفاتح والغامق في تلوين الطيور المعاصرة كالزرزور. يُعتَقَد من جانب بعض العلماء وفق دراساتهم لتشريح [التركيب البنيوي] لمتحجراته أنه كان يطير، فيما يرى آخرون منهم أنه كان متزلقًا أو مظليًّا. كان ريشه الطويل الخارجي ريش طيران حقيقي كالذي يُرَى في الطيور المعاصرة. مع ريش توجيه مروحي غير متماثل الجانبين على الذراعين والرجلين والذيل. وكان لديه ريش طيران أولي متصل باليدين وثاني أو ثانوي متصل بالذراعين، وكان هذا النمط منسوخًا في الطرفين الخلفيين. وكان ريش الطيران متصلًا ونابتًا من عظام القدم العلوية ايضًا. كانت أصول الريش ممتدة قريبة من أو ملامسة للعظام، كما في الطيور المعاصرة، مما وفر نقاط تثبيت قوية، رغم عدم ظهور هذا في معظم المتحجرات تحت الضوء العادي، بسبب عرقلة بفعل الأنسجة الطرية المتحللة، لكن ذلك يظهر تحت الأشعة فوق البنفسجية.













Sinornithosaurus [الزاحف الطائر الصيني الرباعي الأجنحة] ديناصور مريش من فصيلة الديناصورات العدّاءة Dromaeosauridae رتبة الديناصورات اللواحم السائرة على قدمين. كان ريشه مختلفًا قليلًا عن ريش الطيران الخاص بالطيور ذي الأشكال الشبيهة بالخطاف الصغيرة، والتي تصنع مروحة متصلة، يعتقد بعض العلماء لذلك أنه تزلق لمسافة قصيرة أثناء قفزه من شجرة إلى أخرى. وتشير الدراسات على البنيوات الميكروسكوبية المجهرية المحفوظة في المتحجرات إلى أن ريشه كان متنوع الألوان في المناطق المختلفة من جسده. فمنها البني المحمر والأصفر والأسود والرمادي.

هل كانت كل الديناصورات مُرَيَّشة؟ الإجابة هي لا. فلدينا أدلة مباشرة من انطباعات الجلد أن بعض الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischians والديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي sauropods البالغة كان يغطيها حراشف. لكن صغير الفيل حديث الولادة لديه شعر، بالتالي ربما لا يخبرنا الدليل الخاص بالديناصورات البالغة بكل القصة. كمثالٍ، فإن Psittacosaurus [ذا المنقار الشبيه بمنقار الببغاء، نوع أَوَلِيٌّ من الديناصورات قرناء الرؤوس] الصغير الحجم من رتبة ذوات الورك الشبيه بالطيري كان لديه شعر خشن طويل حول ذيله، بينما يغطي باقيَ جلدِه حراشفُ.

في مجملها، تثبِت الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods الصينية أن الطيور تطورت من ديناصورات لاحمة سائرة على قدمين مفترِسة صغيرة الحجم راكضة على الأرض، وأن الريش تطور قبل الطيور وقبل الطيران. من بين الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين الصينية، فإن Protarchaeopteryx [الذي قبل أركيوبتركس الطير العتيق] هو أقرب قريب للطيور مكتشَف حتى الآن، خاصة لأكثر طائر بدائي معروف، وهو Archaeopteryx [الطير العتيق].

إذن كيف نميِّز الآنَ بين طائر وديناصور لاحم سائر على قدمين صغير الحجم؟ الإجابة: بصعوبةٍ، وبالتأكيد ليس بريشه! فحتى الآن ليس هناك سمة جوهرية للهيكل العظمي يمكن استعمالها بثقة.

لعل هذه فرصة جيدة لتوضيح مدى التفاهة والضآلة التي يمكن أن تكون عليها الانتقالة التطورية من مجموعة إلى أخرى. لقد فقس أول طائر بدائي [به بعض الصفات الطيرية البدائية الأوليّة] من بيضة وضعتها ديناصورة لاحمة سائرة على قدمين. لكنْ ما لم يكن هناك الكثير من الأفراخ الأخرى في نفس المرحلة التطورية بالضبط تقريبًا لتُشَكِّلَ مُستعمَرةً [مجموعةً سكانية] متهاجنة، لكان خط التحدر التطوري قد انقرض. حتى لو أنك كنت هناك في ذلك الزمن، تشاهد هذه الأفراخ المريشة تفقس وتنمو، لما كنتَ ستُدرِك أنكَ ترى الانتقالة من ديناصور لاحم سائر على قدمين theropod إلى طائر في ذلك الجيل من المجموعة السكانية الخائضة لعملية التطور. وبالتأكيد، هذا صحيح وينطبق على أي انتقالة تطورية أخرى مما قد حدث على الإطلاق. هذا يعني أنه لو كان سجل المتحجرات كاملًا نسبيًّا، فإن التغير الذي يحدِّد الانتقالةَ سيكون بالضرورة تغيرًا تافهًا للغاية لدرجة أنه سيبدو متكلِّفًا مصطَنَعًا. وإنه بالتأكيد تافهٌ ومصطَنَعٌ.

أصل ونشأة الريش

إن البروتينات التي تصنع الريش في الطيور الحية تختلف تمامًا عن البروتينات التي تصنع الحراشف الزاحفية في العصر الحالي. ينشأ الريش في طبقة جلدية عميقة تحت الطبقة الخاجية التي تُكَوِّنُ الحراشفَ. إنه لغير مُرَجَّحٍ جدًّ أن الريش تطور من حراشف زاحفية، رغم أن هذا الاعتقاد مترسخ بعمق في أذهان كثيرٍ للغاية من علماء المتحجرات والأحياء القديمة. نشأ الريش على الأرجح كتراكيب جديدة تحت وبين الحراشف الزاحفية، وليس كحراشف مُعدَّلة. للكثير من الطيور حراشف على أسفل رجليها وقدميها حيث لا يُنمَّى ريشٌ، وللبطاريق ريش قصير للغاية على أجزاء من جناحيها لدرجة أن الجلد مُحرشَف من الناحية الفعلية في الواقع. بالتالي لا توجد مشكلة تشريحية [بُنيوية] في تصور تطور الريش على جلد زاحفي محرشَف [مغطًّى بالحراشف]. لقد تطور الريش في الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods كتراكيب جديدة تمامًا، وينبغي على أي تفسير معقول لنشأته أن يأخذ هذا في الاعتبار. على نحو واضح، لم يتطور الريش لأجل الطيران. بل تطور لوظيفةٍ ما أخرى وعُدِّلَ لاحقًا لأجْل الطيران.

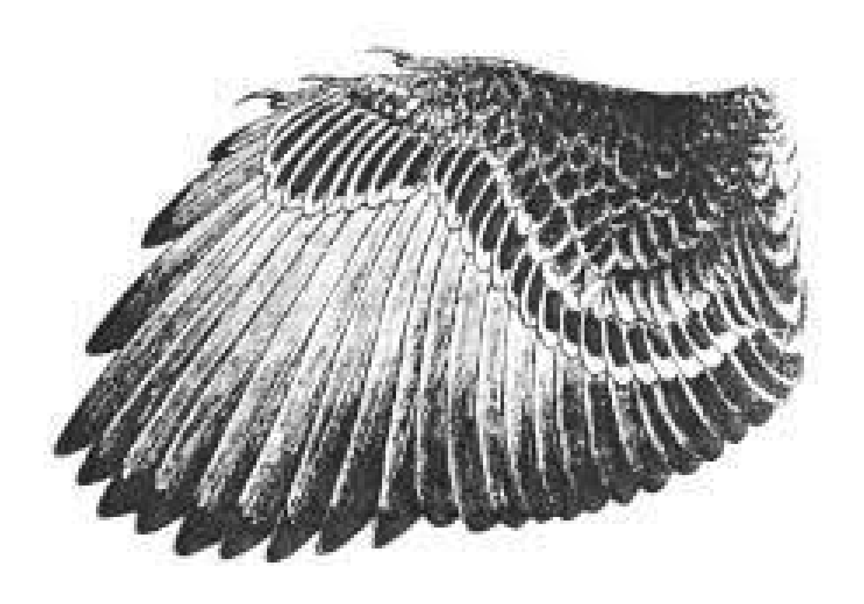
ربما تطور الريشُ للمساعدة في تنظيم درجة حرارة الجسد. لجميع الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين الصينية المريَّشة زَغَبٌ، على الأرجح كعازل لإبقاء أجسادها عند درجة حرارة مُطَّرِدة منتظِمة. لن يفرق ما إذا كانت استعملت ريشها لحفظ الحرارة في الفترات الباردة، أم لإبعاد الحرارة عنها في الفترات الحارّة، أو كِلا الأمرين. ففي كلتا الحالتين، كان العزل الحراري سيكون مفيدًا.

إن نظرية تنظيم درجة حرارة الجسد كتفسير لنشأة الريش هي على الأرجح أكثر النظريات قبولًا على مستوىً واسعٍ، لكن بها مشاكل حقًّا. لماذا ريش؟ فالريش نموه أكثر تعقيدًا، والحفاظ عليه في حالة جيدة أصعب، وهو أكثر عُرضةً للتلف، وأكثر صعوبةً في إحلاله بجديد مقارنةً بالفرو. إن كل كائن حي آخر طور سترةً مساهِمة في تنظيم درجة حرارة الجسد _من الوطاويط إلى النحل، ومن اليساريع [اليرقات] إلى الديناصورات جناحية الإصبع الرابع المستطال pterosaurs_ لديه نوع ما من السترة الفرائية. لا يوجد سبب واضح لتطوير ريش بدلًا من فرو حتى للوقاية من الحرارة.

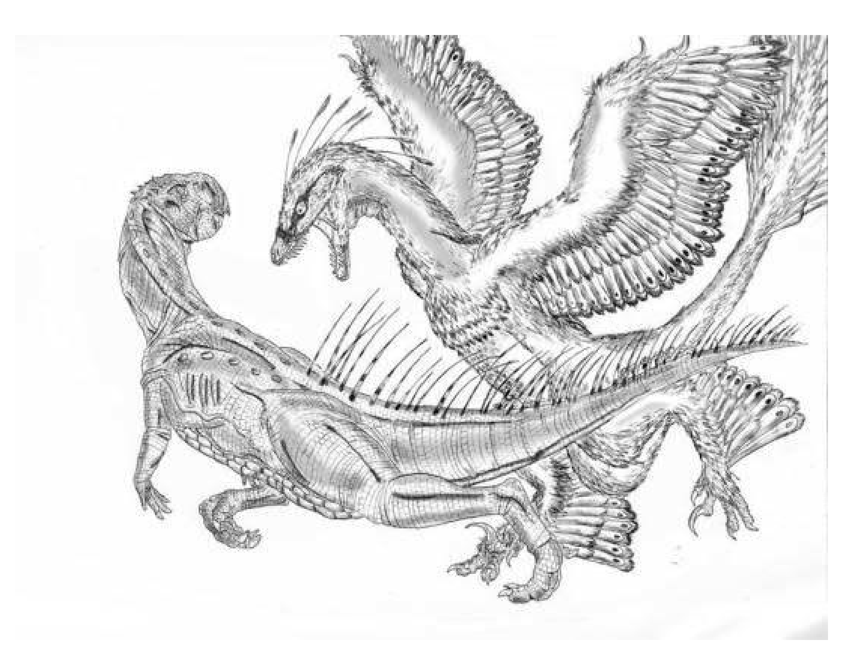
علاوة على ذلك، فإن تنظيم درجة حرارة الجسد لا يمكن أن يعلل طول أو توزيع الريش الطويل على أجساد الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين الصينية. يستطيع الريش القصير (الزَغَب) توفير تنظيم جيد لدرجة حرارة الجسد، لكن تنظيم درجة حرارة الجسد لا يتطلب ريشًا طويلًا، ولن يساعد كثيرًا تطويرُ ريشٍ طويلٍ قويّ على الذراعين والذيل في تنظيم درجة حرارة الجسد. بالتالي يصعُب اقتراحُ أن الريش تطور لأجْل تنظيم درجة الحرارة فقط. سيكون من الأفضل التفكير في تفسير آخر بسيط بنفس القدر.

إني أفضِّل على نحو تلقائي فكرةً طورتُها وشرحتُها بالتفصيل منذ سنوات، مع زميلي Jere Lipps. في الطيور الحية المعاصرة، يكون الريش للطيران وللعزل الحراري، لكنه أيضًا للتمويه / أو الاستعراض. اقترحتُ أنا وJere Lipps أن الريش تطور للاستعراض. ربما كان الاستعراض بين الإناث أو بين الذكور للهيمنة على منظومات التزاوج (الانتخاب الجنسي)، أو بين الأفراد للصراع على المناطق أو الطعام (الانتخاب الاجتماعي)، أو موجَّهًا ضد أفراد الأنواع الأخرى كدفاعٍ.

كثيرًا ما تستعرِض الزواحفُ والطيورُ الحية المعاصرة لأحد أو كل هذه الأسباب، باستعمالها للون والحركة والوضع كعلامات بصرية للمُعادي. كثيرًا ما يُستعمَل الاستعراضُ لزيادة الحجم الظاهري للجسد. فكلما كان الحيوان أصغر حجمًا، زادت فاعلية إضافة ضئيلة على شكله في زيادة حجمه الظاهري. لذلك اقترحتُ أنا وLipps أن الريش الملوَّن القابل للانتصاب كان سيمنح أفضليةً انتخابيةً هائلة للديناصور اللاحم السائر على قدمين الصغير الحجم القائم بالاستعراض، لدرجة أنها ستتشجّع على نقلة سريعة من الجلد المحرشَف إلى السترة الريشية. كان الاستعراض سيكون أفضليةً طالما يظهر أي ريش ولو كان قصيرًا، وكان سيكون بأكثر فاعليةً لو كان على لواحق متحركة، مثل الطرفين الأماميين والذيل. الاستعراض بريشٍ على الرجلين لم يكن سيكون مرئيًّا لولا فعَّالًا للغاية. كان الاستعراض بالطرف الأمامي المريَّش من جانب ديناصور لاحم سائر على قدمين صغير الحجم سيلفت الانتباهَ أيضًا إلى الأسلحة القوية التي يحملها عليها، وهي مخالبه الأمامية (الصورة ١٢– ٣٠). وكان الـ Caudipteryx [مريَّش الذيل] يحمل ريشًا على إصبعه الوسطى على شكل مروحة ريشية، بين المخلبين الخارجيين، وكان يستطيع طي ذلك الإصبع الأوسط، مع كون الريشِ بعيدًا عن التعرضَ للتضرر.



الشكل ١٢– ٣٠ كان الاستعراض بالطرف الأمامي المريَّش سيلفت الانتباهَ أيضًا إلى الأسلحة القوية الخاصة بأقدم طائر معروف، الأركيوبتركس Archaeopteryx أو الطير العتيق، الذي كان ديناصورًا لاحمًا سائرًا على قدمين theropod مشتقّ ومتطور السمات.



رسم يُتَصَوَّر فيه sinornithosaurus millenii الديناصور الطيري الصيني يستعرض ريشه لإخافة نوع معادٍ.

تفسِّر فرضية الاستعراض سمات الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين المريَّشة وأقدم طائر معروف الأركيوبتركس Archaeopteryx أو الطير العتيق أكثرَ من أي فرضيات أخرى، ومع افتراضات أقل. إنها تشرح بالكامل نمط الريش، أيْ: تطور ريش طويل قوي على الذراعين والذيل.

حالما تطور الريش، فإنه سرعان ما انتُخِبَ للمساعدة في تنظيم درجة حرارة الجسد، ولعل السِتْرةِ الزَغَبِيّةِ على أجساد الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods الصينية تُظهِر تلك العملية. الزَغَب لا يمكن أن يفيد إلا في تنظيم درجة حرارة الجسد. ورغم أنَّ الزَغَبَ ليس إثباتًا لكون الكائن ذا دم حار [ذا تنظيم داخلي لحرارته]، فإنه دليل قوي جدًّا لصالحه. في الطيور الحية المعاصرة، يترافق الريش الزغبي مع مشكلة فقدان الأفراخ للحرارة.

حضن البيض [الرقاد عليه]

لا تزال هناك نتائج ضمنية أخرى. رقد الديناصور اللاحم السائر على قدمين الصغير الحجم الـ Oviraptor أوڤيرابتور [نترجمها إلى حاضن بيضه] على بيضه، تمامًا كما تفعل الطيور الحية المعاصرة. تحمي قلائل من الطيور القاطنة للصحراء بيضَها من الشمس بالجلوس فوقه، لكن أغلب الطيور ترقد على بيضها لإبقائه دافئًا؛ وحتى الطيورُ القاطنةُ الصحراءَ تُبْقِي بيضَها دافئًا في الليل. لو أن الـ Oviraptor أوڤيرابتور [حاضن بيضه] كان له ريشٌ، فبالتالي سيتضح أنه كان أكثر شبهًا بالطيور مما قد كنا نتصور، وأنه من غير المرجَّح جدًّا أنه كان بارد الدماء! [أي يعتمد في تنظيم درجة حرارته على مصادر وعوامل البيئة الخارجية].

لقد صار اعتبار أن درجة حرارة أجساد أنواع ديناصورات أخرى كانت مثل الخاصة بـ Oviraptor [المفترِس حاضن بيضه] مسألة تقدير الآن. إننا لا نعلم ما إذا كانت الديناصورات الأخرى رقدت على بيضها أم لا، لكننا نعلم بالفعل أن كل مجموعات الديناصوات بنت أعشاشًا. ومن بين كل تشعبات رتب الديناصورات، فإنه لواضحٌ أن افضل ادعاء نستطيع القيامَ به لصالح ثبات درجة حرارة الجسد وربما حتى التنظيم الداخلي لحرارة الجسد، هو بين خطوط التحدر التطوري الخاصة بالديناصوات اللاحمة السائرة على قدمين theropods. يمكن استعمال نوع آخر تمامًا من الأدلة على مجموعات الديناصورات الأخرى.

الديناصورات التي عاشت عند خطوط العرض العالية [الباردة المناخ]

يسهُل تمامًا تصورُ ديناصور كبير الحجم بالغ لديه درجة حرارة منتظِمة أثناء تقلبات درجة حرارة الجو الضئيلة ما بين النهار والليل، وخاصةً في المناخات الاستوائية المعتدلة. لكن كان هناك حياة نباتية وحياة حيوانية للديناصورات ثريَّة احتوت على الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بمنقار البطة hadrosaurs والديناصورات اللاحمة المفترِسة الجبارة الضخمة tyrannosaurs في صخور العصر الطباشيري المتأخر في المنحدَر الشمالي لألاسْكا، والتي كانت في ذلك الزمن عند خطِ عرضٍ شماليّ، على أقل تقديرٍ عند درجة ٧٠ شمالًا وربما حتى عند درجة ٨٠ شمالًا. على نحوٍ مساوٍ ازدهرت مجتمعات مجموعات الحياة النباتية التي عاشت في المناخات الباردة وديناصورات العصر الطباشيري المبكر في جنوبيّ أستراليا، والذي كان آنذاكَ عند

درجة ٨٠ جنوبًا تقريبًا، كما وُجِدَت الديناصورات في القطب الجنوبي أيضًا. وفي تلك الخطوط العرضية العالية، كان على الديناصورات النباتية أن تبقى على قيد الحياة وتنجو من تغيرات موسمية قوية شديدة في الضوء ودرجة الحرارة وإمداد الغذاء النباتي.

كانت درجات حرارة القطبين في العصر الطباشيري معتدلة حقًّا؛ فقد نمت مستعمَرات حياة نباتية خصبة ثرية عند خطوط العرض العالية في كِلا نصفي الكرة الأرضية. لكن ذلك النمو الخصب في خطوط العرض القطبية يمكن أن يحدث في الصيف فقط. حيث يمنع أو يعيق ظلامُ الشتاءِ نموَ النباتات، وكانت مراعي الشتاء نادرة حتى لو كانت درجات الحرارة القطبية في العصر الطباشيري في المتوسط أعلى من التجمد. إن النمو الصيفي لنباتات القطب الشمالي في العصر الحالي تحد منه درجات الحرارة المنخفضة رغم وجود ضوء كثير. كانت النباتات النفضيّة [التي تسقِط أوراقها في موسمي الخريف والشتاء] تسود على مستعمَرا الحياة النباتية في العصر الطباشيري المتأخر الخاصة بأمِركا الشمالية في كل مكانٍ شمالَ مُنْتانا Montana، ربما لأن مستويات الضوء كانت منخفضة للغاية بما جعل احتفاظ النباتات بأوراقها طوال الشتاء أمرًا غيرَ مهمٍّ وغير مفيد. لا بد أنه قد كانت هناك تجمدات عَرَضيّة من آنٍ إلى آخرَ عند خطوط العرْض القطبيّة، ولو كان الظلام يحل عليها، فلا بد أن لم يكن هناك سبيلٌ لأن تسخَن من جديد منطقة قد برَّدَتْها عاصفةٌ شتويةٌ.

لا توجد كائنات كبيرة الأحجام منظِّمة لدرجة حرارة أجسادها داخليًّا ذاتيًّا في خطوط العرض العالية في العصر الحالي. تعيش التماسيح والسلاحف في المعظم في المناطق الاستوائية، وفقط من آنٍ إلى آخرٍ تصل إلى مناطق معتدلة المناخ. ولا توجد [في العصر الحالي] أي زواحف على الإطلاق في ألاسكا. وعلى النقيض فإن الكائنات المنظمة لدرجة حرارة أجسادها داخليًّا ذاتيًّا تبقى على قيد الحياة حتى قرب قلنسوات أو قبعات الجليد فوق قمم الجبال في العصر الحالي. تعيش اللواحم المفترِسات كالدب القطبي والثدييات الكبيرة الأحجام السبَّاحة مثل حيوانات الفظِّ [فيل البحر] والفقمات والحيتان، وطيور البطاريق طوالَ السنة في المناطق القطبية، رغم كم الطعام الكبير الذي تحتاجه لتسخين أجسادها. أما القوارت [الآكلة لكلٍّ من النباتات واللحوم] البريَّة مثل الدببة البنية والدببة الرمادية فتتجنب أسوأ فترات إمداد الطعام المنخفِض والبرد عن طريق البيات الشتوي. لكن بالنسبة للحيوانات النباتية الكبيرة الأحجام فإنها "لا تجرؤُ" على القيام ببيات شتوي؛ لأنها كانت ستكون عُرضةً لهجوم اللواحم المُصابة بالأرَق! لذلك فهي تهاجر بدلًا من ذلك، تغطي قطعان حيوانات الرنة [الأيائل أو الظباء الشماليّ أمرِكيّة] مئاتِ الكيلومترات فيما بين المواسم.

إنْ تكن الحيوانات الحية المعاصرة مرشِدًا موثوقًا به للإيكولوجي القديمة، فقد كانت الديناصورات النباتية الكبيرة الخاصة بألاسكا ذاتية تنظيم درجة حرارة أجسادها داخليًّا وهاجرت مع تعاقب الفصول. إن المهاجرين العظماء في العصر الحالي هم طائرون (الطيور) أو سابحون (الحيتان) أو ماشون (ثدييات كبيرة الأحجام، لها أطفال ناضجة مبكرًا بحيث تستطيع المشي والركض سريعًا جدًّا بعد مولدها، كظباء الرنة وحيوانات السهول الأفريقية. تضمنت [متحجرات] ديناصورات ألاسكا الكثيرَ من أطفال الديناصورات ذوات المناقير الشبيهة بمنقار البطة الهادروسورات hadrosaurs، مما يدل ضمنيًّا على أن الأفراخ الحديثة الفقس كانت ناضجة مبكرًا على نحو معقول ونَمَتْ بسرعة. لا بد أن كل آكلات النباتات ذوات وزن الخمسة أطنان أو أكبر كانت قادرةً على الارتعاء على مناطق كبيرة من الأرض. وقد تضمن ارتعاء الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بمنقار البطة hadrosaurs الخاصة بالعصر الطباشيري على الأرجح تحركات هامة ملحوظة باتجاه الشمال والجنوب حسب تعاقب الفصول. ربما هاجرت بعض الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بمنقار البطة سنويًّا إلى أراضي تعشيش في الجنوب، تمامًا كما تهاجر ظباء النة الحوامل باتجاه الجنوب في العصر الحالي. بالتالي إذا كان الحال كذلك كان سيكون لأطفال الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بمنقار البطة ميزة أو أفضلية التغذِّي على النباتات النامية الخاصة بصيف القطب الشَمالي. في أثناء ذلك، تَبِعَت الديناصورات العملاقة الجبارة المفترسة tyrannosaurs التيرانوسورات ومفترِسات أخرى أصغر حجمًا مسار الهجرة، تمامًا كما تتبع الذئابُ قطعانَ أيائل الرنة في العصر الحالي.

لا تنطبق نفس حُجَّة الهجرة على جنوبي أستراليا، حيث كانت كتلة الأرض التي سكنتها الديناصورات معزولةً عن باقي القارَّة. لا يوجد مفر من استنتاج أن الديناصورات عاشت هناك على مدار العام. وكان الكثير من أنواعها صغار الأحجام؛ فكان Leaellynasaura [ديناصور Leaellyn، على اسم ابنة الزوجين عالمي المتحجرات مكتشفي المتحجرة] الصغير الحجم من رتبة ذوات الورك الشبيه بورك الطيور ornithischian بحجم الدجاجة فقط، وكان نوع آخر بحجم الكلب، وحتى الألوسور Allosaurus الأسترالي كان أصغر بكثير من نظرائه الشمالي أمرِكيين. وكان لـ Leaellynasaura محجرا عينين كبيرين جدًّا بالنسبة لحجمه، مما يقترح وجود عينين كبيرتين، ربما ليرى أثناء الشتاء القطبي المظلم. يصعُب تجنب استنتاج أن هذه الديناصورات كانت ذاتية تنظيم درجة حرارة أجسادها داخليًّا.

شكوك حول صفة التنظيم الذاتي الداخلي لحرارة الأجساد في الديناصورات؟

أظهر David Carrier ديڤيد كاريير رابطًا بين الوقفة أو الوضع المنتصِب والتنظيم الذاتي الداخلي لدرجة حرارة الجسد (راجع الفصل ١١). يُمكِّن الوضعُ المنتصِبُ الطيورَ والثديياتِ من تنفس أُكْسُجِن كافٍ لإجراء التنظيم الذاتي الداخلي لدرجة حرارة الجسد، لكن البقاء على قيد الحياة لا يتطلب بالضرورة التنظيم الذاتي الداخلي لدرجة حرارة الجسد. فلو كانت الديناصورات قادرةً على الهجرة، لكانت ستستطيع تجنب الشتاءات القطبية التي تتطلب التنظيم الذاتي الداخلي لدرجة حرارة الجسد للنجاة. كان الـ Oviraptor [حاضن بيضه] سيستطيع حضن بيضه بنجاح طالما أنه ثابت درجة حرارة الجسد؛ فلم يكن يحتاج أن يكون ذاتي تنظيم درجة الحرارة. ربما استُعْمِلَ الريشُ الزَغَبيُ لتنظيم درجة الحرارة في ديناصور لاحم سائر على قدمين منظِّم لدرجة حرارة جسده خارجيًا من خلال العوامل البيئية، وليس بالضرورة في واحدٍ منظم لدرجة حرارة جسده ذاتيًّا داخليًّا. ربما كانت الديناصورات الأسترالية الصغار الأحجام قادرةً على القيام بتنظيم داخلي ذاتي لدرجة حرارة أجسادها بمعدل منخفض ضئيل، لنقل مثلًا التسخين حتى ما قد نعتبره درجة حرارة باردة، حوالي ٧٠ فهرنهايت (حوالي ٢١ درجة مئوية) أو نحو ذلك. كل هذه الأدلة تقترح ذاتية تنظيم درجة حرارة الأجساد في الديناصورات، لكنها لا تتطلبه بالضرورة.

أنتجت الأبحاث على بنية عظام الديناصورات أدلة مُلتَبِسة غامضة فيما يتعلق بمستويات التمثيل الغذائي في الديناصورات، وبالتالي فيما يتعلق بدرجة حرارة أجسادها وسلوكياتها. كمثالٍ، فإن ديناصورًا من نوع hypsilophodont [ذوات تيجان الأسنان المتخذة لشكل U] (ديناصور نباتي من ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischian) من جنوبي أستراليا كان لديه ترسيب عظمي متواصل، بينما كان لدى ديناصور من نوع ornithomimosaur (الديناصورات اللاحمة الصغيرة الأحجام الشبيهة ظاهريًّا بالنعام) من نفس الطبقات ترسيب عظمي حَلَقي. في العادة، سيفسر المرء الترسيب العظمي المتواصل على أنه يدل على نشاط مستمر على مدار العام و/ أو ثبات درجة حرارة الجسد، بينما يدل الترسيب العظمي الحلقي على ترسيب عظام موسمي بدرجة كبيرة و/ أو عدم ثبات درجة حرارة الجسد. لكن ذينك الديناصورين كانا أصغر حجمًا بكثير من أن [يستطيعا] الهجرةَ، ويقترح الترسيب أو الإيداع المتواصل للعظام في الذي هو من نوع hypsilophodont أنه على الأقل لم يقم ببيات شتوي. إننا يتخلف لدينا شعور مزعج بأن بنية عظام الديناصورات عسيرة التفسير، من جهة مسألة التنظيم الذاتي الداخلي درجة حرارة الأجساد أو عدمه على الأقل، بأي طريقة بسيطة.

التنظيم السلوكي والخامل [السلبي] لدرجة حرارة الجسد

يمكن التحكم في درجة الحرارة إلى حد ما عن طريق السلوكيات (كالتشمس والاستحمام والسعي إلى الظل ومستوى النشاط) كما في السحالي والتماسيح الحية. يُحْصَل على الكثير من أفضليات تنظيم درجة حرارة الجسد حتى لو تجنبَ الكائنُ الحي الحالات القصوى لتقلبات درجات حرارة البيئة المحيطة. وتنظيم درجة حرارة الجسد عن طريق السلوكيات رخيص غير مكلف؛ فالتبرُّد لا يتضمن فيه تعرقَ ماءٍ ثمين، والتسخين الشمسي لا يحرق الطعام.

معظم الزواحف الحية المعاصرة صغار الأحجام نسبيًّا، وهي تكتسب وتفقد الحرارة سريعًا. هذا قد يكون جيدًا أو ضارًّا سيئًا بالنسبة لها، لكن هذا يتبع قوانين الفيزياء. رغم ذلك، فمعظم الديناصورات كن كبار الأحجام بدرجة كافية لأن يكون كان لديهم تنظيم خامل لدرجة حرارة الأجساد (تنظيم لدرجة حرارة الجسد غير متطلب لفعلٍ). تفكَّر كم من الوقت يستغرق الأمر لإزالة التجمد عن دجاجة مجمَّدة، وكم يستغرق الأمر وقتًا أكثر مع ديك رومي مجمد. كان الأمر سيستغرق معظم النهار لتسخين حتى ديناصور وزنه طن واحد، ومعظم الليل لتبريده. كانت الديناصورات الأكبر حجمًا ستكون عمليًّا وتقريبًا منتظمة درجة حرارة الأجساد سواء اختارت هذا أم لم تختره؛ فقد كانت ستدفأ وتبرُد ببطء للغاية بالنسبة للنهار والليل بحيث أن درجة حرارتها الداخلية لم تكن ستتغير كثيرًا على الإطلاق. يُعرَف تنظيم درجة حرارة الجسد السلبي أيضًا بالخامل أو gigantothermy [ثبات درجة الحرارة بفعل السلوكيات في الكائنات الضخمة الأحجام حيث تكون قادرة على نحو أكثر سهولة على الحفاظ على درجة حرارة جسدية عالية نسبيًّا مستمرة ثابتة أكثر من مقدرة الحيوانات الصغار الأحجام بفضل صغر حجم أسطح جلدها]. هذا كان سيُبْقِي الديناصورات المتوسطة إلى الكبيرة الأحجام عند درجات حرارة جسدية قريبة من متوسط درجة الحرارة اليومية الخاصة ببيئتهم المحيطة، ربما كان هذا ثباتًا لدرجة حرارة الجسد، لكنه ليس تنظيمًا ذاتيًّا داخليًّا لها.

كمثال، فإن ديناصورًا كبير الحجم منظمًا لدرجة حرارة جسده بطريقة خاملة في مناخ استوائي معتدل كالخاص بالأمازون في العصر الحديث كان سيكون لديه درجة حرارة جسدية حوالي ٢٧ درجة مئوية (٨٠ فهرنهايت)، نهارًا وليلًا، وفصلًا بعد فصلٍ. بالتالي في بعض المواطن يسهُل الاعتقادُ بأن الكثير من الديناصورات الكبيرة الأحجام (لنقل معظم الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري وذوات الأرجل الشبيهة بالسحلوية ornithischians and ornith

sauropods) استطاعت الحياة وأداء وظائفها الحيوية على نحو جيد بهذا النوع من تنظيم درجة حرارة الجسد، بدرجة حرارة جسدية أقل إلى حد ما من الخاصة بنا. كما قد رأينا، يمكن للمرء أن يجادِل على أية حالٍ بأن الديناصورات القطبية [الساكنة للقطبين ونواحيهما في زمنها] هي دليل على وجود تنظيم درجة حرارةِ الأجساد عند درجات حرارة بيئية باردة بالمقارنة.

التماسيح الحية المعاصرة

جاء فهمٌ عميقٌ متبصّرٌ في عام ١٩٩٩م مع بحث جديد على التماسيح الأسترالية. تستطيع التماسيح التشمسَ في الشمس لتكتسب حرارةً (راجع الفصل الثامن). وتستطيع أيضًا الخوضَ في الماء لتتبرَّد. في المجمل، هي تستعمل تنظيم درجة حرارةِ الأجساد عن طريق السلوكيات للحفاظ على درجات حرارة جسدية منتظِمة تمامًا. وجد Frank Seebacher وزملاؤه _كما تُوُقِّع_ أن التماسيح التي يزن الواحد منها طنًّا تستطيع تنظيم درجات حرارة أجسادها على نحو أسهل بكثير من التماسيح الأصغر حجمًا، بسبب تأثيرات التنظيم الخامل لدرجة حرارة الجسد. لكنهم وجدوا أيضًا _لمفاجأتهم_ أن التماسيح الكبيرة الأحجام أدفأ في المتوسط من التماسيح الصغيرةِ الأحجام (انظر Seebacher et al., 1999). لا يوجد تفسير لهذا حتى الآن، لكنه يعني أنه لو كانت [أجساد] الديناصورات تعمل بنفس الطريقة، فإن الديناصورات الكبيرة الأحجام استطاعت الحفاظ على درجات حرارة جسدية عالية (حوالي ٣٨ درجة مئوية، أيْ: ١٠٠ فهرنهايت) ببساطة بتنظيم الحرارة الجسدية الخامل السلبي والسلوكي.

إن التماسيح من رتبة الزواحف الحاكمة archosaurs، وهي أقرب قريب تطوري حي (فيما عدا الطيور) للديناصورات. سألخص النتائج الضمنية لبحث فريق Seebacher باعتباره نموذج الزواحف الحاكمة لتنظيم درجة حرارة الجسد في الديناصورات. في نموذج الزواحف الحاكمة، يتكلف التسخين والتبريد بالاعتماد على البيئة وقتًا فقط، وليس طاقةً. بالتالي كان سيكون للديناصورات مستوى تمثيل غذائي وقت الراحة بنفس المقدار الذي للتماسيح تقريبًا، وأقل بكثير من الخاص بالثدييات الحية. رغم ذلك، فلكل الفقاريات تمثيل غذائي أقصى للجهد حوالي سبعة أضعاف قيمة التمثيل الغذائي وقت راحة أجسادها، بالتالي سيسمح نموذج الزواحف الحاكمة بأداء مثير للإعجاب من جانب الديناصورات، رغم أنه وفقًا لذلك لم يصل إلى المستوى الخاص بالثدييات والطيور الحية المعاصرة.

تذكَّرْ أن الديناصورات _بوقفتها ووضعيتها المنتصبة القامة_ استطاعت الجري وجرت فعلًا. ولقد رأيتُ تمساحًا أستراليًّا يندفع مهاجِمًا فريسةً، وليس لدي أوهام بخصوص سرعة حركة الزواحف الحية المعاصرة. وأضف إلى ذلك قدرة الديناصورات على الحفاظ على السرعة (حيث حلت الديناصورات مشكلة قيد كاريير Carrier)، فبالتالي كان أداء الديناصورات هائلًا مرعِبًا.

يفسِّر نموذجُ الزواحفِ الحاكمةِ وجودَ ديناصوراتٍ في خطوط العرض العالية. حياة الديناصورات في المناخات الباردة كانت ممكِنةً، بالنظر إلى أن الحيوانات كانت ستحتاج الطعامَ حسب مستويات تغذية الزواحف فقط. كما يفسِّر حقيقة كون كثير من الديناصورات كانت كبيرة الأحجام؛ فالحجمُ وحدَه كان سيعطي درجاتِ حرارةٍ جسديةٍ عاليةً نسبيًّا وأفضلياتها، وبتكلفة ضئيلة.

يفسر نموذج الزواحف الحاكمة أيضًا بعضَ تكيفاتِ التبريد الخاصة بالديناصورات والتي تبدو محيِّرة لأول وهلة. كان لدى الديناصورات الأكبر حجمًا مشاكل في التبريد أكثر مما كان لديها في تسخين الجسد.

نادى بعض علماءُ المتحجراتِ والأحياء القديمة لسنواتٍ بأن الديناصورات كان لها [طبيعة] بيولُجِيَّة حراريّة مختلفة خاصة بها، وربما يكونون مصيبين. اقترح James Farlow (في Weishampel et al., 1999) أن الديناصورات كان لها القدرةُ على رفع وتخفيض معدل تمثيلها الغذائي، ربما وفقًا للفصول. هذه نتيجة تلقائية تقريبًا لنموذج الزواحف الحاكمة، وخاصةً في المناخات الموسمية خارج المناطق الاستوائية. لكنْ هل هذا صحيحٌ؟

الحجم ومعدلات التمثيل الغذائي

تتناقص معدلات التمثيل الغذائي في الفقاريات الحية مع زيادة الحجم في أي مجموعة من الحيوانات المتشابهة. إن إطعام فيل أرخص من إطعام نفس وزنه من الأحصنة. للتعبير عن الأمر بوضوح وبساطة نقول: إن حيوانًا حجمه عشرة أضعاف آخَرَ سيحتاج ستة أضعاف الطعام والأكسجين [الذي يستهلكه الحيوان الآخر]. الاستثناءات تكون معقولة مفهومة. كمثالٍ، للطيور الطنّانة معدل تمثيل غذائي أعلى مما كان المرء سيتوقعه بسبب طريقتها المستهلِكة لطاقة عالية بالرفرفة لجمع الرحيق. بالتالي حتى عملت أجساد الديناصورات من ذوات الأرجل الشبيهة بالخاصة بالسحلية sauropods بمعدلات التمثيل الغذائي الخاص بالثدييات، فقد كان الواحد منها سيحتاج إلى حوالي ستة أضعاف كم طعام فيلٍ فقط، وليس عشرة أضعاف. لكنْ لو عملت أجساد الديناصورات من ذوات الأرجل الشبيهة بالخاصة بالسحلية وفقًا لنموذج الزواحف الحاكمة، فإنها كانت ستحتاج طعامًا أقل بكثير. بالتالي ربما لم تكن مشاكل معيشة الديناصورات من ذوات الأرجل الشبيهة بالخاصة بالسحلية بأحجام ضخمة جدًّا مشاكل مريعة بالقدر الذي تبدو عليه.

الديناصورات النباتية الضخمة المُتَبَرِّدة

لا بد أن المواد النباتية المنقوعة داخل معدة ديناصور نباتي قد أنتَجَتْ كمًّا هائلًا من الحرارةِ عندما تخمَّرَتْ. سيدرك أي شخص معتاد على استعمال السماد العضوي للحدائق أن هذا يمكنه رفع درجة حرارة الجسد بدرجة كبيرة، وخاصةً في ديناصور ذي أرجل شبيهة بالخاصة بالسحلية sauropod ذي وزن خمسين طنًّا. هذه حرارة "مجانية" إضافية على الطاقة الشمسية. رغم ذلك، فإنه قد يصعُب التحكم في درجة الحرارة الجسدية العالية وكانت ستتناسب مع كم وكيف وتكرارات ما كان يأكله الديناصور. فبدون أي تحكم آخر، كان سيرفع التخميرُ السريع من درجة حرارة الجسد، وهو ما سيُزِيد بدوره معدَّل التخمير، وهكذا، في رد فعل منفلت محتمَل الخطورة. بالتالي ربما كان لدى الديناصورات النباتية مشاكل في التحكم في درجات حرارة الجسد أكثر من الديناصورات اللاحِمة [المفترِسة].

رغم ذلك، فقد كان للديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بالسحلوية sauropods صفتان ربما جعلتا التخلص من الحرارةِ أسهل مما كان المرء ليتصور. أولاهما، إنه كلما كبُر حجمُ الديناصور صارت المشكلة أهون، لأن الجسد ذا الحجم الكبير جدًا كان سيكون يسخن ببطء، وكان الليل سيكون وقتًا ملائمًا للتخلص من الحرارة الغير مرغوب فيها. وثانيهما؛ أن الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بالسحلوية sauropods تطور فيها تدريجيًّا فراغات هوائية في هياكلها العظمية، متصلة بالمنظومة الرئوية. هذا لم يخفف فحسب من وزن الهيكل العظمي، بل وسمح للهواء بالانتشار في أنسجة الجسد العميقة، بما في ذلك العمود الفقري. من ثم كانت الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بالسحلوية تتخلص من الحرارة بالتبريد التبخيري أثناء زفرها للهواء. تستعمل الطيورُ نفسَ النظام (انظر إلى غراب أو دجاجة في يومٍ حارّ). وفي حال كانت كل الأمور كما نتوقعها، فهذا قد يساعد على تفسير كيف تطورت الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحلية إلى مثل تلك الأحجام الفائقة للعادة.

هناك نتيجة لازمة لاكتشاف هذا النظام الهوائي. فلو كان للديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحلية نفس النظام التنفسي كالطيور، فربما كان لها نظام تمثيل غذائي مشابه. إن نظام تنفس الطيور أكثر كفاءةً من الخاص بالثدييات، ويوفر أُكْسُجِنًا كافيًا لإمداد كائن حي حار الدماء بالطاقة. كانت الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بالسحلوية تنمو بسرعة جدًّا في سنواتها المبكرة؛ وتقترح بنيتها العظمية أنها كانت تصل للنضج الجنسي في حوالي سن عشر سنوات، ولحجمها الكامل في حوالي سن عشرين سنة. مثل ذلك المعدل الهائل للنمو يمكن إيجاده في الثدييات والطيور، لكنْ ليس في أي زاحف معاصر. مجدَّدًا، فهذا دليل ضمني على كائن حار الدماء.

ربما يقدم الديناصور النباتي المغطى بالأشواك الصفيحية العظمية Stegosaurus طريقةً مختلفةً لتناول مسألة التمثيل الغذائي الخاص بالديناصورات. إنه ديناصور نباتي ضخم كان يزن خمسة أطنان، مشهور بالصفائح التي على ظهره (الصور ١٢– ١٦). إنها ليست أشواكًا، بل هي متفرعة من العمود الفقري. الصفائح منظَّمة يمينًا ويسارًا بالتعاقب على طول الظهر بحيث لا تكون على صفٍ واحد، وأسطحها متموجة متجعدة كما لو أنها كانت في حيواتها مغطاة بجلد وكان لها أوعية دموية تمتد عليها. برهنت التجارب الهندسية على نماذج من الألومنيوم والحديد الصلب لديناصور Stegosaurus [ذي الأشواك الصفيحية على ظهره] عند تسخينها بالكهرباء ووضعها في أنفاق الرياح الاصطناعية أن الصفائح مثالية على نحوٍ خاص للتخلص من الحرارة

الزائدة في نسائم الهواء. إنها لم تتطور للتشمس. هذا يعني ضمنيًّا أن Stegosaurus كان لديه مشاكل ضغط حراري، واحتاج لطرد بعض الحرارة، على الأقل في أحيان كثيرة. بالتأكيد، عندما كان لا يحتاج التبريدَ، كان يُقْطَع إمدادُ الدم عن الصفائح.

يدل نظام معقد كهذا ضمنيًّا على أن Stegosaurus احتاج تبريدًا كفؤًا لكنه لم يحتَج تدفئةً. هل ذلك لأنه كان حار الدم من الأصل، إلا أنه كان في نفس الوقت يخمِّر كمياتٍ كبيرةً من النباتات المنتِجة للحرارة؟ إن الديناصور ذا الأشواك الصفائحية على ظهره Stegosaurus مشهورٌ أيضًا بامتلاكه تجويفًا كبيرًا في عموده الفقري والذي فُسِّرَ قديمًا كمكان لـ "مخٍّ" خلفيٍّ كبير [للتحكم بالذيل]. سيُفسَّر هذا التجويفُ على نحوٍ أفضلَ بكثير بمقارنته بالفجوات الهوائية الموجودة في الهياكل العظمية للطيور، والتي تُسْتَعْمَل لتمرير الهواء المبرّد عبر الجسد قبل أنْ يصلَ إلى الرئتين.

كان لـ Triceratops [الديناصور النباتي الأقرن ذي الثلاثة قرونٍ] (الصور ١٢– ١٨) هُدْبٌ عظميٌّ كبيرٌ جدًّا على جمجمته، وقرون كبيرة. تقترح الأبحاث الجديدة لـ Reese Barrick وزملائه أن الهدب المغطَّى إلى حدٍّ كبيرٍ بالجِلد ربما كان سطحًا طاردًا للحرارة فعَّالًا لكامل الجسد. وربما استُعْمِلَتْ القرونُ أيضًا للتخلص من الحرارة لإبقاء الدماغ باردًا! (انظر Barrick et al., 1988).

التنفس

وثَّقَ David Carrier وColleen Farmer تشابهات مذهلة بين نظامي التنفس الخاصين بالطيور والتماسيح (الزواحف الحاكمة الباقية على قيد الحياة). تستعمل كلا المجموعتين _بطرق مختلفة_ أنظمة العظام والعضلات لدعم التنفس بتحريك الحوض والمعِدة لتوليد حركة ضخ تؤثر بدورها على الرئتين. جادل David Carrier and Colleen Farmer على نحوٍ مقنعٍ بأن المرءَ لو أعادَ إنشاءِ الأجهزة في منطقة حوض الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods، فهناك احتمال كبير جدًّا أنها كانت قادرة على إجراء نظام دعم للتنفس مشابه. علاوة على ذلك، فإن نظام الضخ مرتبط على نحوٍ لا فكاكَ منه مع الحركة، ممكِّنًا التنفسَ من الارتباط مع الحركة النشيطة للديناصورات بطريقة مناظرة للتي نراها في الثدييات والطيور (الفصل العاشر). لقد وسَّعا البرهانَ ليشمل حتى الزواحف مجنحة الإصبع الرابع المستطال pterosaurs والديناصورات ذوات الفخذ الشبيه بالخاص بالطيور ornithischian، والتي كانت أيضًا سائرة على قدمين نشيطة. لو كان كل ذلك صحيحًا، فبالتالي كان نظام إمداد الأُكْسُجِن سيقدر بالتأكيد على توليد تدفقات طاقة عالية في نظام التمثيل الغذائي الخاص بالديناصورات (انظر Carrier and Farmer، ٢٠٠٠).

الديناصورات الصغيرة الأحجام

في نموذج الزواحف الحاكمة للتمثيل الغذائي، فإن تنظيم الحرارة الجسدية أسهل بكثير بالنسبة للحيوانات الكبيرة الأحجام مما في الصغيرة الأحجام. إلا أن كل الديناصورات كانت صغيرة الأحجام في حداثة طفولتها، وكانت كثير من الديناصورات صغار الأحجام كبالغين، خاصةً بعض أنواع الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods. حتى وفقًا لنموذج الزواحف الحاكمة للتمثيل الغذائي الخاص بـ Seebacher، فإن الديناصورات الصغيرة الأحجام كانت ستكون الأكثر احتياجًا لحرارة الدماء. وكانت الديناصورات الصغيرة الأحجام _سواء أكانت أطفالًا حديثة الولادة في أعشاش، أم بالغين صغار الحجم يواجهون مسألة إدارة ومراعاة الأعشاش_ ستُبْلِي بلاءً أفضل لو أنها كانت حارة الدماء، أو كان لها آباء حارّو الدماء يرقدون على الأعشاش. ربما يمكن اعتبار تطور الرقاد على [أو حضن] البيض في الديناصورات ابتكارًا مهمًّا لم تحققه التماسيحُ والزواحفُ الأخرى. وربما يبدو معقولًا أن الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods الصغيرة الأحجام سترةً من الريش لتنظيم درجة حرارة الجسد، والتي لم تتطور في خطوط تحدر الديناصورات الأخرى. لقد كان هذان الابتكاران (الريش وحضن البيض) ابتكارين حاسمين للديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين (لِجَعْلِها ديناصورات لاحمة سائرة على قدمين أفضل) أدَّيا إلى تطور مجموعة جديدة تمامًا من الديناصورات، وهي الطيور.

الإجابة على مسألة حرارة دماء الديناصورات أو عدمها (التنظيم الذاتي الداخلي لحرارة الأجساد)؟

إذن، وأخيرًا!، ما هي الإجابة؟ لقد كان للديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين على الأقل تنظيمٌ لدرجة حرارة الجسد (الريش الزَغَبِيّ). واستطاعت كل الديناصورات التنفس أثناء ركضها (بفضل الوقفة المنتصِبة)، بالتالي كان لها القدرة على الجري السريع الثابت (تُثْبِته آثارُ الأقدام). كان للديناصورات

ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي Sauropods أيضًا نظام تنفس شبيه بالخاص بالطيور، ولعل ديناصوراتٍ أخرى كان لها ذلك أيضًا على الأرجح (وخاصةً الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods التي كانت وثيقة القرابة للغاية للطيور). كان للديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي Sauropods أيضًا نموٌ سريعٌ. لا يُثْبِتُ أيٌّ من هذا أن الديناصورات كانت حارة الدماء (ذاتية داخلية تنظيم درجة الحرارة الجسدية وثابتة درجة الحرارة الجسدية)، لكن كل هذا يشير إلى ذلك الاتجاه. باختصار، هناك كثيرٌ من الأدلة تقترح بقوة أن الديناصورات كانت حيوانات حارة الدماء نشيطة.

الفصل الثالث عشر

تطور الطيران

هناك أربعة أنواع من الطيران: الطيران السلبي الخامل، والهبوط المظلي، والتحليق بدون رفرفة جناحين، والطيران القوي. تستطيع استعمال الطيران الخامل السلبي فقط كائنات متعضية ضئيلة جدًا خفيفة بدرجة كافية لأنْ ترفعها وتحملها الرياح العاديّة وتيارات الهواء، وخفيفة بدرجة كافية لألا تتعرض للتضرر عند الهبوط. يمكن نقل الحشرات الضئيلة وأطفال العناكب وبيض الضفادع والكثير من أنواع حبوب اللقاح والأبواغ والبذور بهذه الطريقة. لكن مدة واتجاه ووجهة "طيرانها" في يد وتحت رحمة الأحداث الصدفوية بالكامل.

كانت أول كائنات متعضية بريّة وأول كائنات متعضية هوائية ميكروسكبية [مِجهرية]. وتكيفًا للتكاثر مع مشاكل الحياة في الهواء، طورت الفطريات والنباتات وكائنات أخرى متعضية ضئيلة الأبواغَ، والتي كانت خلاياها التناسلية الطرية يحميها غلافٌ جافٌ مانع للماء [غير ناضح]، بدلًا من المادة اللزجة الرطبة التي هي كفؤة في الماء. من ثم استطاعت الأبواغ الجافة الانتشارَ كطافيات [هائمات] على الرياح، كأول طائرين على كوكب الأرض. توجد أبواغ النباتات في صخور العصر الأوردوڤيتشي (راجع الفصل الثامن)، وهي متنوعة وواسعة الانتشار في صخور العصر الديڤي على نحوٍ كافٍ لاستعمالها كمتحجرات مرشِدة لتأريخ العصور النسبي. وبالإضافة لكل شيء آخر، فهذا يقترح أن بعض أنواع النباتات كان لديها مجال كبير واسع من المواطن المحتمَلة المتاحة لها لدرجة أن وسيلة نشر [أو نثر، توزيع] طويلة المدى صارت مفيدة ذات شأن.

أما الطيران المتزلّق فيتضمن الهبوط المظلي، والذي فيه تُبطئ بنيوات الطيران من السقوط. وأما الطيران التحليقي بدون رفرفة ففيه تمكِّنُ بنيوات الطيران الكائنَ المتعضي من اكتساب الارتفاع باستغلال تيارات الهواء الطبيعية. قد يبدو الهبوط المظلي والطيران التحليقي بلا رفرفة نوعين متقاربين أو متداخلين، لكن طبيعتيهما البيولُجيَّتين مختلفتان جدًا، ولأسلوبَيْ الطيران على الأرجح نشأتان [أصلان] مختلفتان على نحوٍ واضح لا شك فيه. للكائنات الهابطة كالمظلي بنيوات طيران أبسط وتحكم أقل بكثير في اتجاه وسرعة وارتفاع الطيران عما في الكائنات المحلقة بلا رفرفة. فهي [الكائنات الهابطة المتزلقة] تسعى إلى حركة قصيرة المدى من نقطة إلى أخرى، ومواضع هبوطها تكون قابلة لتوقعها على نحو معقول لأنها لا تسعى إلى تيارات هواء خارجية لرفعها. أما الهبوط المظلي فيُستَعْمَل في المواطن التي تكون تيارات الهواء فيها في أدنى حد، وخاصةً في الغابات. إن عصفات الريح وتيارات الهواء ذات نتائج كارثية محتمَلة للحيوانات الهابطة المظلية، تمامًا مثلما هي كذلك لقوات مظليين بشرية عسكرية.

يُحَقَّق الطيرانُ القوي في العادة بنوعٍ ما من الحركة المرفرِفة بتراكيبَ خاصةٍ (جناحين أو أجنحة). وهو يحتاج كثيرًا من الطاقة، ويعطي استقلالًا أكثرَ بكثيرٍ عن تيارات الهواء المتغيِّرة المتقلِّبة، ويرافقه في العادة مستوى عالٍ من التحكم في حركات الطيران. ولأن الطيران القوي يُحَقَّق بلواحقَ يمكن التحكم بها، فكل الطائرين بقوة يستطيعون التزلق الهوائي إلى مدىً ما، بعضهم على نحو رديء جدًا (ليس أفضل من الهابطين المظليين) وبعضهم على نحو جيد جدًا بالفعل. الطيور الجارحة والطيور البحرية المرفرِفة أمثلة على طائرين بقوة يتزلقون هوائيًّا جيدًا.

تستعمِل التحليق بلا رفرفة الكائنات المتعضّية الطائرة التي تجول على مدى واسع فوق موطن واسع. إنه نوع طيران منخفض الطاقة لأن الرفع يأتي من تيارات هواء خارجية بدلًا من نفقة جهد عضلي من جانب الطائر [القائم بالطيران]. ترتبط تكلفات الطاقة على نحو رئيسي بالمحافظة على وتعديل أسطح التزلق في مجرى تيار الهواء. قد يحتاج المحلقون بلا رفرفة اندفاعاتِ طيرانٍ مرفرِف من آن إلى آخر إنْ لم يكن هناك تيارات هواء رافعة، أو للانتقال من وحدة تيار رافع إلى أخرى. وتُحتاج الرفرفةُ أحيانًا للإقلاع، حتى تتجاوز سرعةُ الهواءِ سرعةَ الانهيارِ أو التوقف، أو للتعديلات النهائية لوضع واتجاه وسرعة الهبوط. ولأن الطيران المرفرف تحتاج إليه من آنٍ إلى آخر كل الكائنات المحلقة بلا رفرفة في العصر الحالي، وخاصة في حالات الضرورة والطوارئ، فلا يمكن أن يكون الطيران المحلق بلا رفرفة قد تطور عن الهبوط المظلي بل تطور فقط عن الطيران القوي.

تتطلب كل أنواع الطيران عظامًا قوية خفيفة. ويتطلب الطيران المحلّق بلا رفرفة خصوصًا بشدة خفةً في الكتلة العضلة وكذلك في البنية العامة المجملة. أما الطيران القوي فيتطلب متطلَّباتٍ أكثر، تتضمن إنتاج طاقة كبير وقوة. لا تستطيع حتى أفضل المحلقات بلا رفرفة في الطيور الحية _وهي طيور القطرس والنسر الأمِركي condors_ الرفرفةَ لوقتٍ طويل دون أن تُجْهَد، لأن عضلات طيرانها صغيرة بالنسة لحجمها ووزنها الكلي. ربما يَصعُب على المحلقات بلا رفرفة المتخصِّصة أن تعيد تطوير [أو اكتساب] القدرة على الحفاظ على الطيران المرفرِف.

يتصور المرءُ أن الطيران القوي ربما تطور بسهولة من التزلق الهوائي. ينبغي أن كل جناح خائض لعملية التطور [أو النمو] يكون أداة تضمن النجاة تلقائيًّا في حال الفشل، سامحةً بالسقوط المتزلق أثناء التدريب على الطيران. لكن حيوانًا طور من قبل تزلقًا كفؤًا لم يكن سيحسِّن طيرانَه بسهولة بالرفرفة في وسط

تزلقه، لأن هذا كان سيقاطِع تدفقَ الهواءِ السَلِسَ فوق أسطح التزلق. يبرهِن التحليل الدراسي الهوائي الديناميكي أن حدوث نقلة تطورية من التزلق إلى الرفرفة ممكِنٌ، لكنْ في ظروفٍ خاصة جدًّا فقط. يجب أن يُضيفَ المتزلِّقُ ضرباتِ أجنحةٍ كبيرةً سريعةً حقًّا، وليس ارتعاشات ضئيلة ضعيفة، ولأن ضربات [أو خفقات] الأجنحة تتطلب نفقة كبيرة من الطاقة، فلا بد أن يكون هناك مقابل مدفوع من الطاقة المخزَّنة المدَّخرة (كمثال، يجب أن يدخر الحيوان بعض طاقة المشي أو التسلق، أو يجب أن يصل إلى إمداد طعام كبير).

يتطلب تطور الطيران تخفيف وتقوية كامل بنية الجسد، وتطور عضو طيران من بنية مُسْبَقة الوجود (طرفٌ، كمثالٍ) والذي كان يمكنه في حالٍ أنْ يمارس وظيفةً أخرى ما. ربما كان للطيران أفضليات ومميزات قوية في الحركة، لأجل جمع الطعام أو الهرب أو الانتقال السريع بين المُرتَكَز [قاعدة المكوث، المسكن] وإمداد الغذاء أو الهجرة، لكن له تكاليف أيضًا، ليس فقط في الطاقة بل وأيضًا في صورة تقييدات على شكل الجسد ووظائفه والتي قد يكون لها عوائق مرافقة. لقد تطور الطيران كثيرًا من المرات على نحوٍ مستقلٍّ رغم كل هذه المشاكل.

يتضمن التطورُ عادةً تراكيب رافعة كبيرة نسبيًّا؛ ففي كل حالة ستوجد بها تركيبة رافعة صغيرة لن تكون أفضل من عدمها على الإطلاق. ويجب أن تكون التراكيب الرافعة موجودة من قَبْلُ بالفعل قَبْلَ أن يمكن تطور الطيران، وبالتالي لا بد أن تكون قد تطورت لأداء وظيفة أخرى ما. تهيمن هذه الفكرة الرئيسية على دراسة أصول ونشوءات التطور في هذا الفصل.

الطيران في الحشرات

وجود الحشرات البدائية معروف منذ صخور العصر الديفوني، لكن الحشرات الطائرة لا توجد حتى العصر الكربوني المتأخر، عندما تشعبت الحشرات في المظلات الشجرية لغابات العصر الكربوني. الكثير من الحشرات بمختلف الأحجام معروفة من طبيقات الفحم الخاصة بالعصر الكربوني، وكان لنصف عدد كل أنواع الحشرات المعروفة في دهر الحياة العتيقة أجزاء فم ثاقبة وماصّة لأكل عصارات النباتات. وتباعًا، كانت تلك الحشرات الأصغر حجمًا مصدرًا غذائيًّا لليعاسيب [حشرات أبي مغزل] العملاقة المفترسة (الصورة ٩– ١٤) وللسلوِيَّات المبكرة (راجع الفصل التاسع).

في الحشرات الحية _ما عدا حشرة ذبابة مايو أو الربيع التي تعيش بضعة أيام فقط بعد بلوغها_ تمتلك آخرُ مرحلة انسلاخ فقط أجنحة، وهي مرحلة البلوغ، ويكون هناك تحول هائل بين آخر مرحلة طفولية (الحوريّة) والبالغة الطائرة. ينبغي أن تكون الأجنحة خفيفة وقوية بأقصى قدر ممكن، ويتحقق هذا في الحشرات الحية يُحَقَّق هذا بسحب أكبر قدر ممكن من النسيج الحي. فيُتْرَك معظم الجناح ككتلة خفيفة من النسيج الميت التي لا يمكن إصلاحها. هذا يعطي كفاءة طيران كبيرة، رغم أنه في العادة فترة حياة بلوغية قصيرة. لعب ولا يزال يلعب قصر العمر المتوقع التلقائي الخاص بالحشرات الطائرة دورًا قويًّا في تطور السلوكيات الاجتماعية ضمن بعض أنواع الحشرات، حيث تُمَرَّر جينات بالغين قادرين على التكاثر غير طائرين قلائل نسبيًّا بمساعدة عدد كبير من الأفراد الطائرة العقيم الغير مكلِّفة الغير ثمينة (كالنحلات العاملات، كمثال). تتخلص كثير من النحلات من أجنحتها. ففي كثير من النمل _كمثال_ تكون الأجنحة ذات وظيفة فقط خلال الفترة قصيرة لكنْ الحيوية الخاصة بالطيران للتكاثر. وليس لدى الحشرات متوسط عمر متوقع كافٍ لرفاهية [أو تبذير] التعلُّم، لذلك فهي تحمل معها "ذاكرة محميَّة" [أو برمجة عصبية، كما لاحظها وسماها علماء أحياء، ولدوكنز ببعض كتبه الغير مترجمة ملاحظات ظريفة على الخلل في هذا النوع من الذاكرة أو البرمجة في التجارب على الدبور مثلًا] والتي يبدو أنها تسيطر على سلوكياتها بالكامل من خلال الغريزة.

لكن هذه سمات الحشرات الحية، ولن تنطبق بالضرورة على الحشرات المبكرة التي لم تكن قد تطورت [أو تطور فيها] الطيران بعدُ. رغم ذلك، فهناك أدلة جيدة حاليًّا من متحجرات حشرات العصر الكربوني على تطور الطيران في هذه المجموعة، التي هي أول حيوانات تطير في الهواء تحكميًّا. أشارت Jarmila Kukalová-Peck في عام ١٩٨٧م إلى أن الحشرات (والملائكة!) هي الكائنات الحية الطائرة التي طورت طيرانًا مرفرِفًا بدون التضحية بأطرافٍ لتكوين الأجنحة. بالتالي لم تخسر الحشرات إلا قدرًا ضئيلًا من قدرتها على التحرك على الأرض.

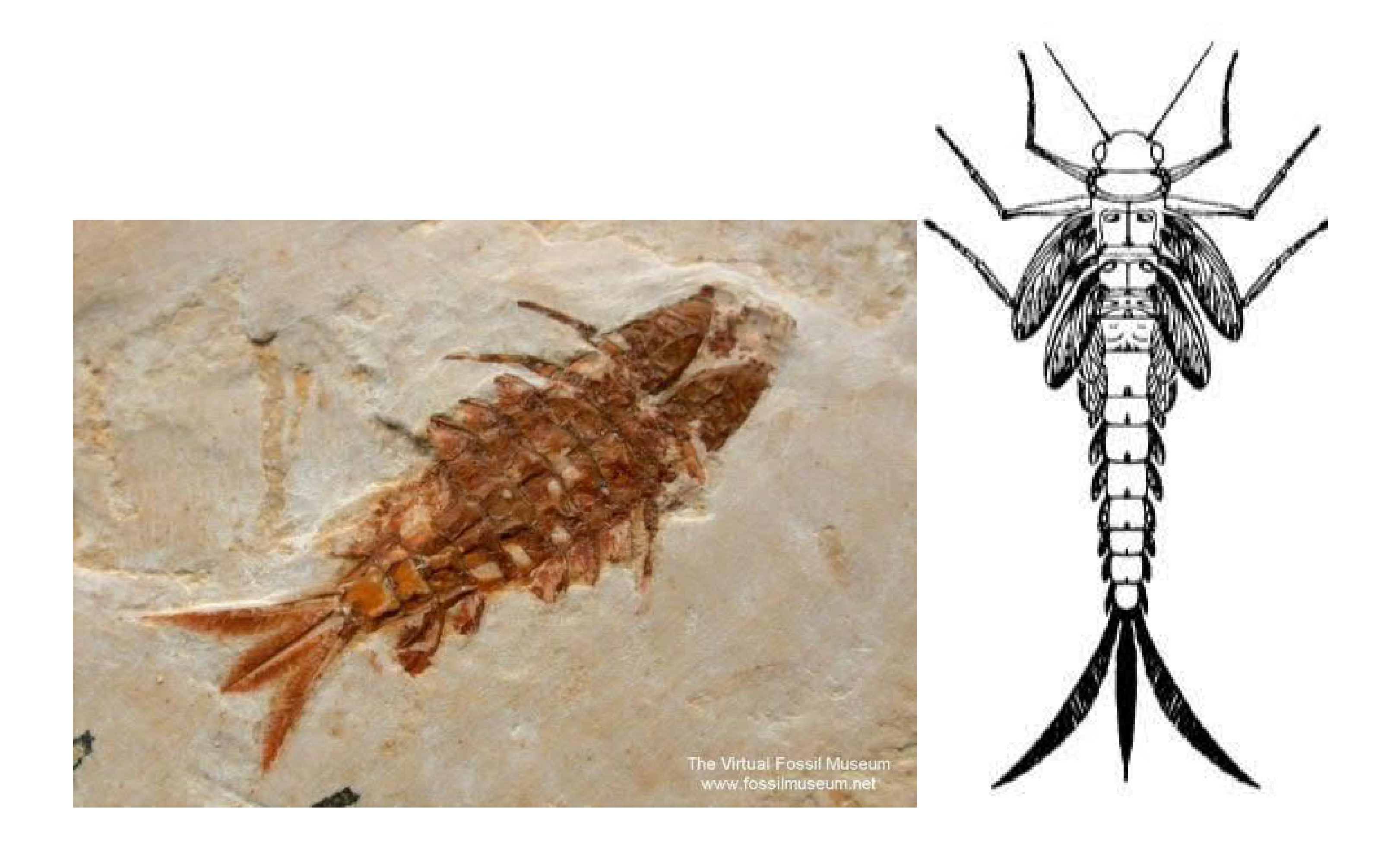
الكثير من أنواع الحشرات الحية متزلقات هوائية جيدة. تمتلك اليعاسيب _والتي هي ضمن أبكر الحشرات التي طورت الطيران_ أجنحة منظَّمة بحيث تكون ثابتة جدًّا في وضع التزلق الهوائي، لكن اليعاسيب تستعمل الطيران المرفرِف لمطاردة فرائسها بسرعة وخبرة. لا نزال لا نفهم طبيعة طيران اليعسوب.

بطريقة ما، تُحْدَثُ دوامات هوائية معقَّدة بين مجموعتي الأجنحة، واللاتي يخفقن بدون اتساق. وفي بعض مراحل دورة الجناح تُنْتِج أجنحة اليعسوب قوى رفع بقوة من ١٥ إلى ٢٠ ضعف وزن جسد اليعسوب.

تمتلك أنواع أخرى من الحشرات أدواتِ تثبيتٍ أو كبحٍ لإبقاء أجنحتها في وضع التزلق بدون إنفاق طاقة. إنها تحتاج أدوات التثبيت تلك لأن أجنحتها في الطيران القوي المرفرِف ترفرِف بحريَّة خلال حركاتٍ معقَّدة. يقترح هذا النمط من التفكير أن الحشرات طورت الطيران كمرفرِفة ثم عدلته لاحقًا بطريقة معقدة ليتضمن التزلق.

إن الحقيقة الحاسمة بخصوص تطور أجنحة الحشرات هي أن أطراف المفصليَّات تتألف في الأصل من قسمين؛ قسم كأرجل للمشي ووحدة أخرى مدموجة وهي الـ exites [ربما نترجمها إلى لواحق أو خياشيم بطنية خارجية قادرة على الحركة]، والتي استُعْمِلَت كأداة ترشيح أو كخياشيم. لا تزال توجد هذه البنية في معظم المفصليات البحرية، لكنها تبدو لأول نظرة مفقودة في الحشرات، والتي تمتلك أرجل مشي فقط. لكنها لم تُفقَد، بل اختفت الخياشيم الخارجية البطنية exites لأنها تطورت إلى أجنحة. نستطيع رؤية بعض مراحل هذا التطور [من خلال ملاحظة آثار التطور في عملية التنمي الجنيني]. ففي المراحل الطفولية القاطنة للماء الخاصة بذباب مايو الحي، وهي مرحلة الحوريّات، كُيِّفَتْ الخياشيم الخارجية البطنية exites exites على طول البطن إلى خياشيم شبيهة الشكل بالصُفَيِّحات. توجد نفس البُنْية على الـ exites الصدرية الخاصة بيرقات اليعاسيب، وبعض الخنافس ومجموعات أخرى عديدة من الحشرات.

عُثِرَ على حوريّات متحجرة لحشرات من العصر الطباشيري المتأخر، وكان للكثير منها لواحق خارجية بطنية exites exites مُعَدَّلة إلى خياشيم شبيهة الشكل بالصُفَيِّحات (الصورة ١٣– ١). لقد كانت تستعمل الصُفَيِّحات على الأرجح أيضًا للسباحة. وتستعمل حوريّات ذباب مايو الحية المعاصرة خياشيمَها الصفائحية بنفس الطريقة. مع ذلك، كانت الصُفَيِّحات أيضًا تكيفًا مسبقًا للطيران، ولو أنها كانت قصيرةً في البدء بالتأكيد، وهذا الطريق إلى الطيران المرفرِف هو الفرضية الرائدة لنشأة وأصل طيران الحشرات.



الصورة ١٣– ١ متحجرة حوريّة ذبابة مايو من صخور العصر البرمي الأدنى [المبكر] في أوكْلاهوما. الأجنحة على الصدر كبيرة وتبدو وظيفية، لكنها كانت للتجديف تحت الماء، وليس للطيران. هناك أيضًا جُنَيِّحات أصغر على كل فصوص [أقسام] البطن. إعادة بناء قامت به Jarmila Kukalová–Peck.



متحجرات أخرى لحوريات ذباب مايو



حوريات ذباب مايو معاصِرة

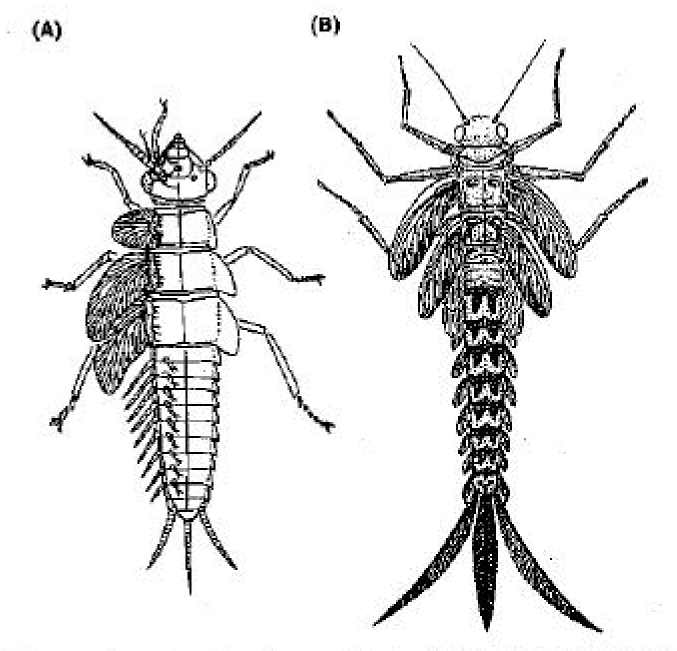


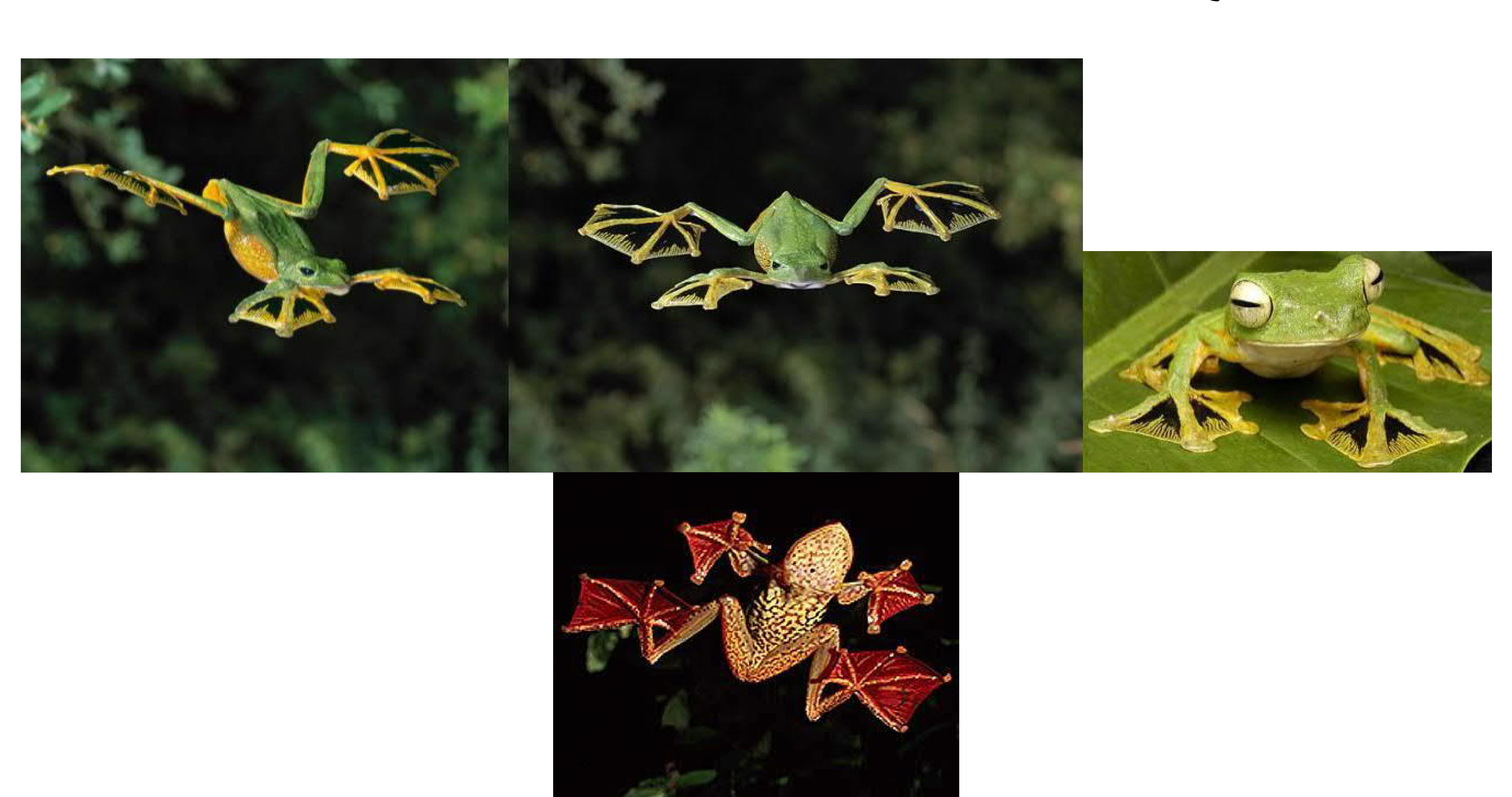
Figure 12.4. Modern and ancient insect appendages. *(A)* A composite that shows the primitive condition in the left half and the modern condition in the right. In the primitive condition, the mouthparts still retain leg morphology, and there are abdominal legs that retain exites. Wings are present on all three thoracic segments. These features are lost in the modern insect. *(B)* An aquatic Paleozoic mayfly larva with abdominal wings. (Drawings courtesy of J. Kukalová-Peck.)

مقارنة بين متحجرة حشرة قديمة مع تشريح حشرة معاصرة تكشف عن الأعضاء التي تطورت وعُدِّلَتْ كأجزاء الفم المتطورة عن أرجل وفقدان لواحق الخياشيم الخارجية البطنية على الأرجل البطنية وغيرها

الفقاريات المتزلقة المظلية

طورت الكثير من الفقاريات الساكنة للغابات طيرانًا مظليًّا تزلُّقيًّا، باستعمال امتدادت جلدية عريضة مسطحة كأسطح للطيران. إنها تتضمن سناجبَ طائرةً وثلاثة خطوط تحدر مختلفة من الجِرابِيّات الأسترالية (المتزلقات الكبيرة greater gliders، و"السناجب" الجِرابية المتزلقة، والمتزلقات مجنحة الذيل feathertail gliders المعروفة كذلك بحيوانات البوسوم القزم الطائر أو الفلانجر الطائر)، والسحلية الطائرة داركو [يعني اسمها التنين]، والأبراص الطائرة، والضفادع الطائرة (الصورة ١٣– ٢)، وحتى ثعابين طائرة. هذا يقترح أن تكيفات الهبوط المظلي تتطور في حيوانات المظلات الشجرية الخاصة بالغابات التي تقفز باعتيادية وعلى نحوٍ مألوف من فرع إلى فرع، ومن شجرة إلى شجرة، ومن الأشجار إلى الأرض. كانت أي وسيلة لتخفيف صدمة الهبوط أو القفز لمسافات أطول ستكون مفضَّلة مفيدة وكانت ستتطور سريعًا.

رغم ذلك، فليس لأيٍّ من هذه الحيوانات المظلية الهابطة طيران قوي فعّال. إن طاقة الطيران التزلقي مستمدة من الجاذبية، تتولد عندما يتسلق الحيوان الشجرة وينطلق هابطًا من الفرع. يمكن أن يتطور الهبوط المظلي حتى في حيوانات ذوات معدلات تمثيل غذائي منخفضة للغاية. إنها لا تتطلب التمثيل الغذائي العالي الخاص بالطيور والوطاويط، والتي تمتلك طيرانًا قويًّا. مما يميّز الحيواناتِ الهابطة المظلية قصر الأطراف وطول الجذوع ومرونة الأعمدة الفقرية ووقفة ومشية على أربع.



الصور ١٣– ٢ الضفدع المتزلق أو "الطائر"، من الفقاريات الهابطة المظلية.



السنجاب المتزلق أو "الطائر"



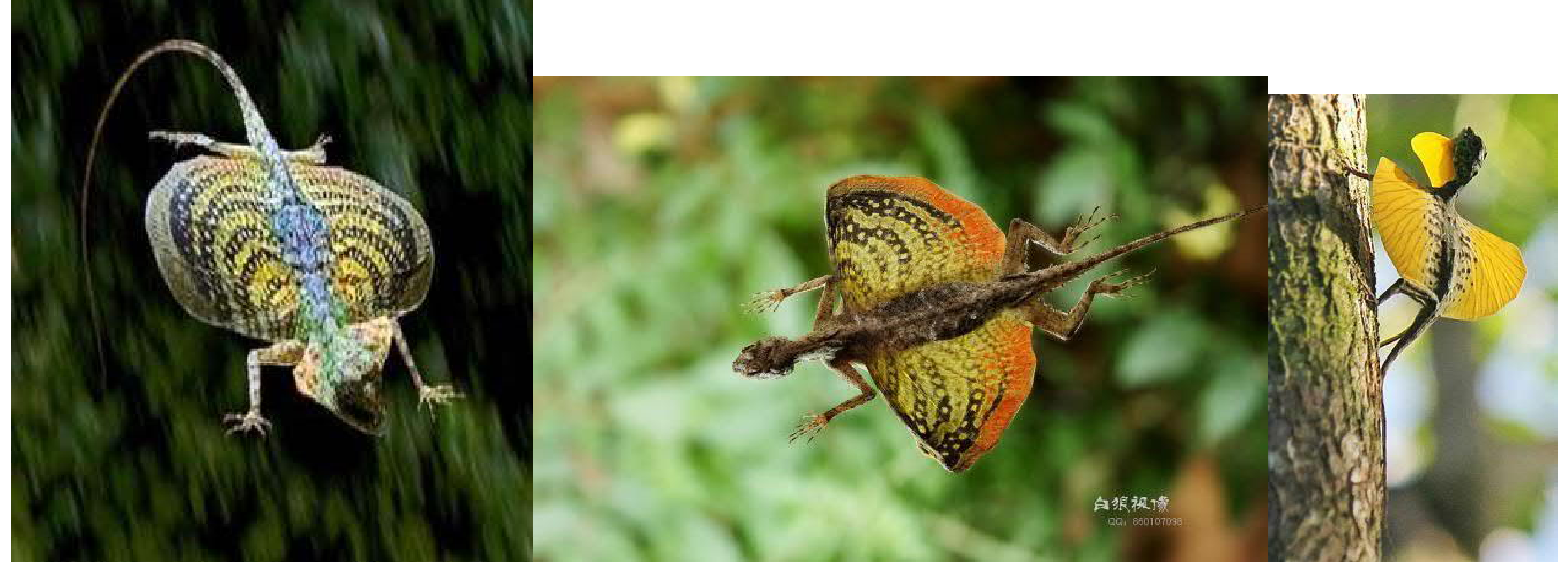
المتزلق "الكبير" أو الأعظم الأسترالي Greater glider



المتزلق المجنح الذيل المعروف بالبوسوم الطائر



Sugar glider





سحلية دراكو Draco المتزلقة ويعني اسمها التنين!



برص متزلق



ثعبان متزلق



أسماك طائرة

الفقاريات المتزلقة المبكرة

إن أقدم فقاري متزلق معروف هو الزاحف Coelurosauravus [مجوَّف العظام، ذو الامتدادين الجلديين المكسوين بعظم داخلي على جانبيه للطيران] من العصر البرمي المتأخر. لقد عُثِرَ على متحجراته في جرمانيا [ألمانيا] وبريطانيا ومدغشقر، بالتالي فقد كان منتشرًا على نحوٍ واسع عبْرَ قارةِ بانجيا Pangea القديمة. كانت كل تلك المناطق قرب سواحل استوائية في ذلك الزمن. كان Coelurosauravus [مجوَّف العظام] زاحفًا صغير الحجم ذا فتحتين صدغيتين اعتاديًّا من حيث بنية جمجمته وجسده، بحجم سنجاب صغير تقريبًا. لكن كان يسود على الجِذع ٢٠ عظمة طويلة متقوسة خفيفة البنية عصوية الشكل والتي امتدت من الجسد باتجاه الخارج على الجانبين. لقد دعمَتْ غشاءً جلديًّا أشبه بسطح انسياب هوائي رافع [أو جناح حامل airfoil or aerofoil (American English)] نموذجي في شكله، بقُطر ٣٠ سم (قدم واحدة)، ويمكن أن يكون قد استُعمِلَ فقط للتزلُّق الهوائي (الصورة ١٣– ٣أ). وعلى نحوٍ أكثر إثارةً للإعجاب، كانت العظام متمفصلة بحيث يمكن أن تُثْنَى إلى الخلف على طول الجسد عندما كان لا يُسْتَعمَل. أتاحت فقراتٌ زائدة الطول مساحةً لهذا الثني [الطي] على طول العمود الفقري. لم تكن هذه العظامُ ضلوعًا، بل لا بد أنها تطورت خصِّيصًا تحت الجلد كبُنيةٍ للتزلُّق. بسبب هذه السمة، فإن Coelurosauravus يوضَع في مجموعة أوليَّة رئيسية من ذوات الثقبين الصدغيين خاصة به مع الزاحف المائي mesosoaurs [يعني اسمه الزاحف المتوسط الحجم]، وهي Weigeltisauria.

نستطيع تقرير مدى جودة تكيف Coelurosauravus [مجوَّف العظام] للطيران التزلقي بمقارنته مع زاوحف العصر الترياسي والزواحف الحية المتزلقة. كانت Kuehneosaurids [المتزلقات الضلعية أو باستعمال الضلوع المستطالة] فصيلة تتألف من نوعين من الزواحف المتزلقة من العصر الترياسي المتأخر، وهما Kuehneosaurus من بريطانيا و Icarosaurus [زاحف إيكاروس، نسبة لاسم الشخصية الأسطورية عند الجريكيين التي حاولت الطيران بجناحين من الشمع] (الصورة ١٣– ب). لقد امتلكا هما أيضًا أسطح انسياب هوائي رافع فعَّالة، لكن بما أنها كانت ممدودة على أضلاع مستطالة، فلا بد أن التزلق قد تطور على نحو مستقلٍ في كل من Coelurosauravus [مجوف العظام] وفصيلة kuehneosaurids [الطائرة بالأضلع المستطالة المغطاة بالجلد].



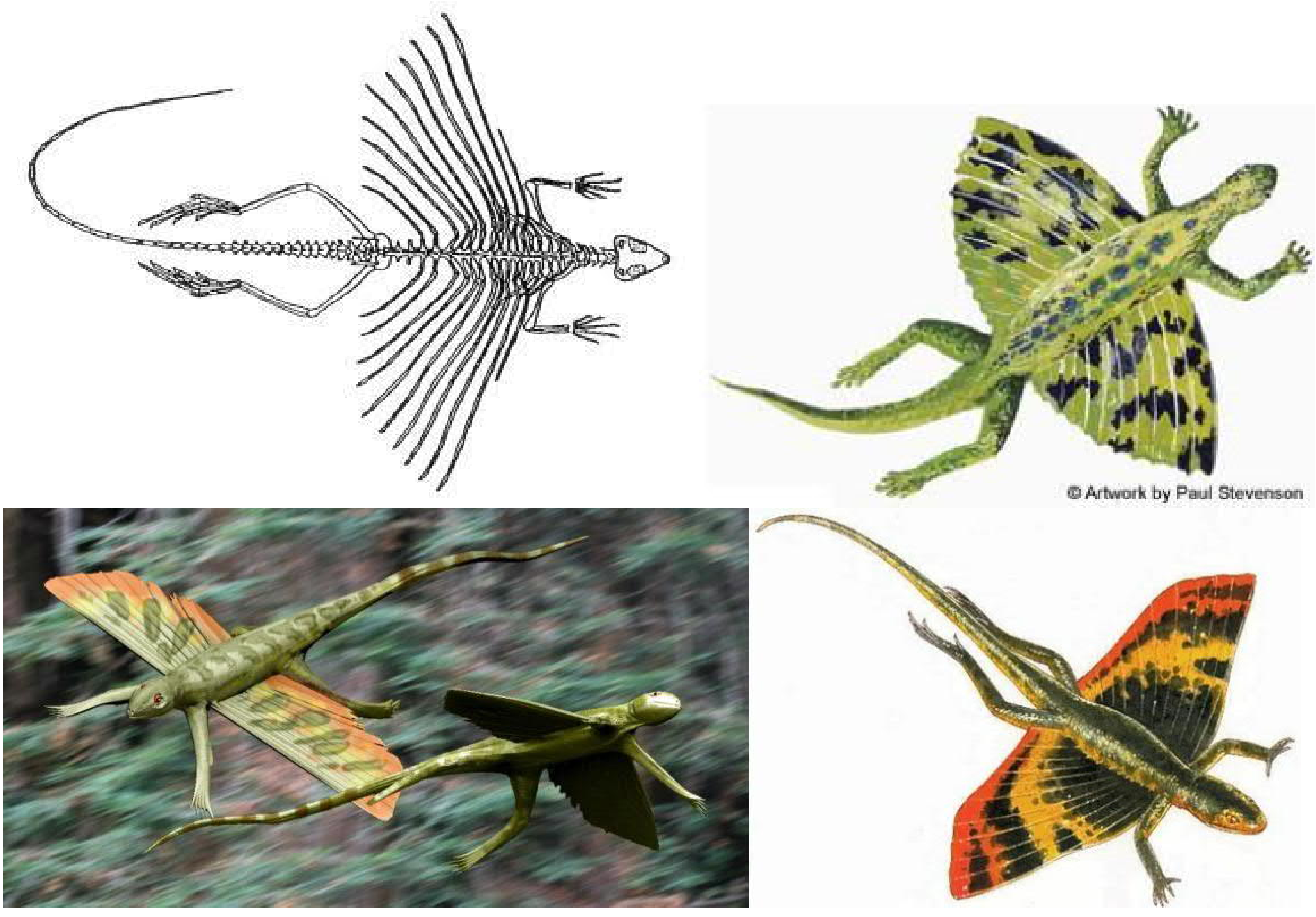
Coelurosauravus

According to Carroll 1978 Frey et al. 1997 This report In situ fossil

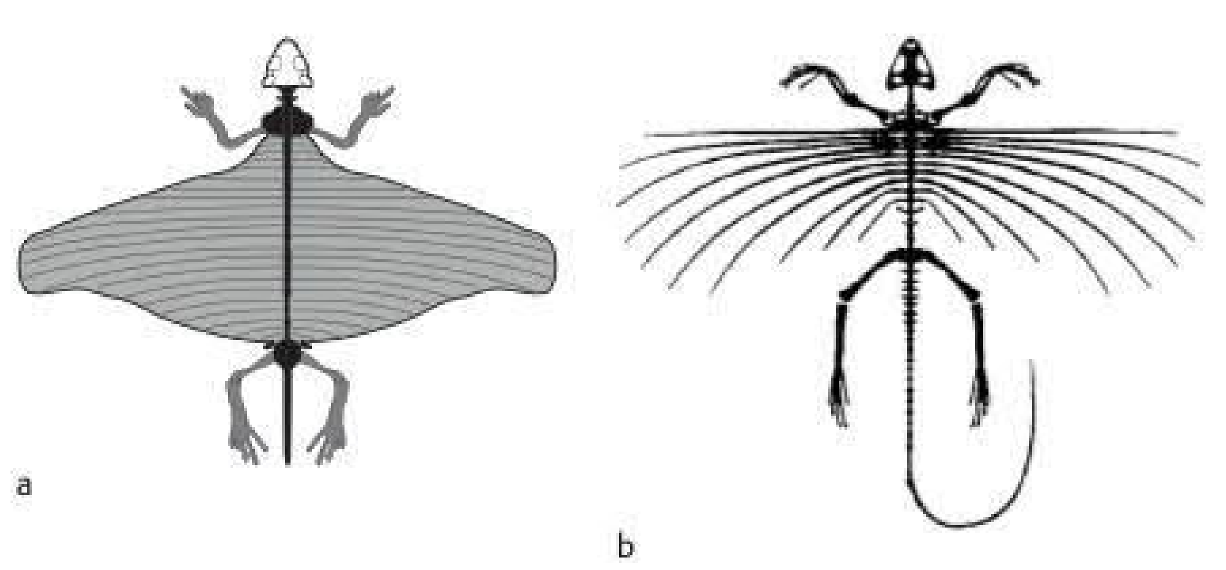
Coelurosauravus يعني اسمه الزاحف المجوف العظام، الزاحف المتزلق في الهواء من العصر البرمي وذو التركيب المشابه للأجنحة كامتداد جلدي على جانبيه وهو زاحف ذو عظام خفيفة مجوفة كان طوله حوالي ٤٠ سم.



متحجرة Icarosaurus [زاحف إيكاروس] وإعادات بناء وتصور له



إعادات بناء لـ kuehneosaurus [زاحف كوهين]



الصورة ١٣– ٣ (أ) Coelurosauravus [مجوف العظام] زاحف متزلق هوائيًا من العصر البرمي. (ب) Icarosaurus [زاحف إيكاروس] زاحف متزلق هوائيًا من العصر الترياسي في نيوجيرسي، يمثل تطورًا مستقلًا آخَر للطيران التزلقي في الفقاريّات.

لا يُعْرَف أيُّ زاحفٍ مغطًّى بالحراشف lepidosaur [الزواحف المغطاة بالحراشف المتداخلة أو الزواحف الحرشفية أو المحرشَفة. وتتفرع إلى فرع السحالي والثعابين، وفرع التِوَتَارات أو الطِواطريَّات Tuatara or sphenodonts] متزلق من سجل المتحجرات بعد العصر الترياسي، بالتالي فلا بد أن سحلية دراكو Draco [معناها التنين] الحيَّة المعاصرة _التي تستعمل أيضًا ضلوعًا مستطالة لدعم سطح انسياب هوائي_ قد طورت التزلق الهوائي على نحوٍ مستقلٍّ. تمنح الأربطة والعضلات بين ضلوع سحلية دراكو تحكمًا دقيقًا في سطح التزلق، وقد كان هذا ينطبق على الأرجح أيضًا على متحجرات الزواحف المتزلقة الأخرى الأقدم. في الكائنات المتزلقة البرمية والترياسية والحية المعاصرة فإن الأربعة أطراف ظلت حرة في المشي والإمساك والتسلق. كل الثلاث مجموعات لها القدرة على طي سطح الانسياب الهوائي الرافع عندما لا يُستَعْمَل. لكن هناك اختلافات مثيرة للاهتمام في الطريقة التي يُنَظَّم بها سطح الانسياب الهوائي. في سحلية دراكو Draco وفي المتزلقات الخاصة بالعصر الترياسي تكون الأضلاع عظامًا مفرَدة غير متصلة. عندما تطوي سحلية دراكو سطح الانسياب الهوائي الخاص بها، فإن الأطراف الشائكة الخاصة بالأضلاع يجب أن تُحرَّك بين العضلات الظهرية، مما يعني أن الأضلاع لا يمكن أن تكون كبيرة جدًّا أو قوية جدًّا. كان لمتزلقات العصر الترياسي روافع طويلة فوق الأطراف الشوكية لأضلاعها للالتفاف على هذه المشكلة، أما

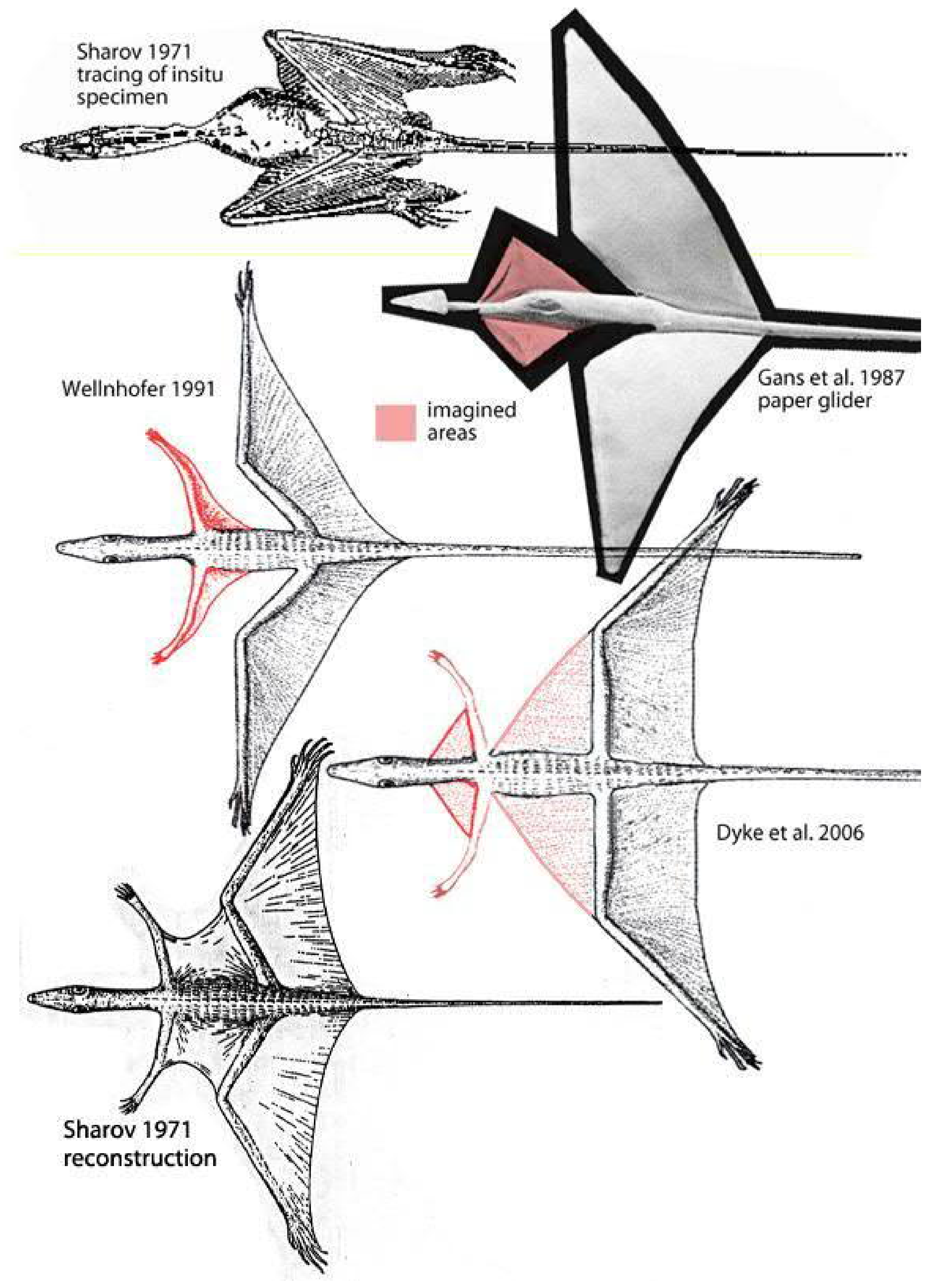
Coelurosauravus [مجوَّف العظام] فقد تجنب هذه المشكلة بالتأكيد تمامًا بامتلاكه سطح انسياب هوائي رافع متصل غير مصنوع من الأضلاع. إذن، من بعض النواحي، كان Coelurosauravus أفضل تصميمًا تطوريًّا من أشباهه اللاحقين.

اكتُشِفَتْ متحجرة Sharovipteryx [الزاحف المتزلق الذي اكتشفه شاروف Aleksandr Grigorevich Sharov وكان يعرف باسم Podopteryx أيْ: مجنح القدمين كما سماه مكتشفه لوجود الامتداد الجلدي على قدميه] بالمصادفة أثناء بحثٍ عن متحجرات حشرات في صخور العصر الترياسي المتأخر في آسيا الوسطى في كازخستان. لقد كان زاحفًا صغير الحجم، ويدل على نحو واضح الجلد المحفوظ الطبعة في المتحجرة على أنه امتلك غشاءَ تزلقٍ هوائيٍّ. مع ذلك، فقد كان Sharovipteryx فريدًا من جهة أن غشاء تزلقه الهوائي كان ممدودًا بين طرفين خلفيين قويين طويلين جدًّا وذيل طويل، بالتالي كان هناك سطح جناحي تزلقي عريض كبير متموضع خلف الجِذْع [المَتْن] والرأس تمامًا (الصور ١٣– ٤)، على نحو شديد الشبه ببعض الطائرات الحديثة، مثل الكنكورد المخترقة لحاجز سرعة الصوت supersonic Concorde.

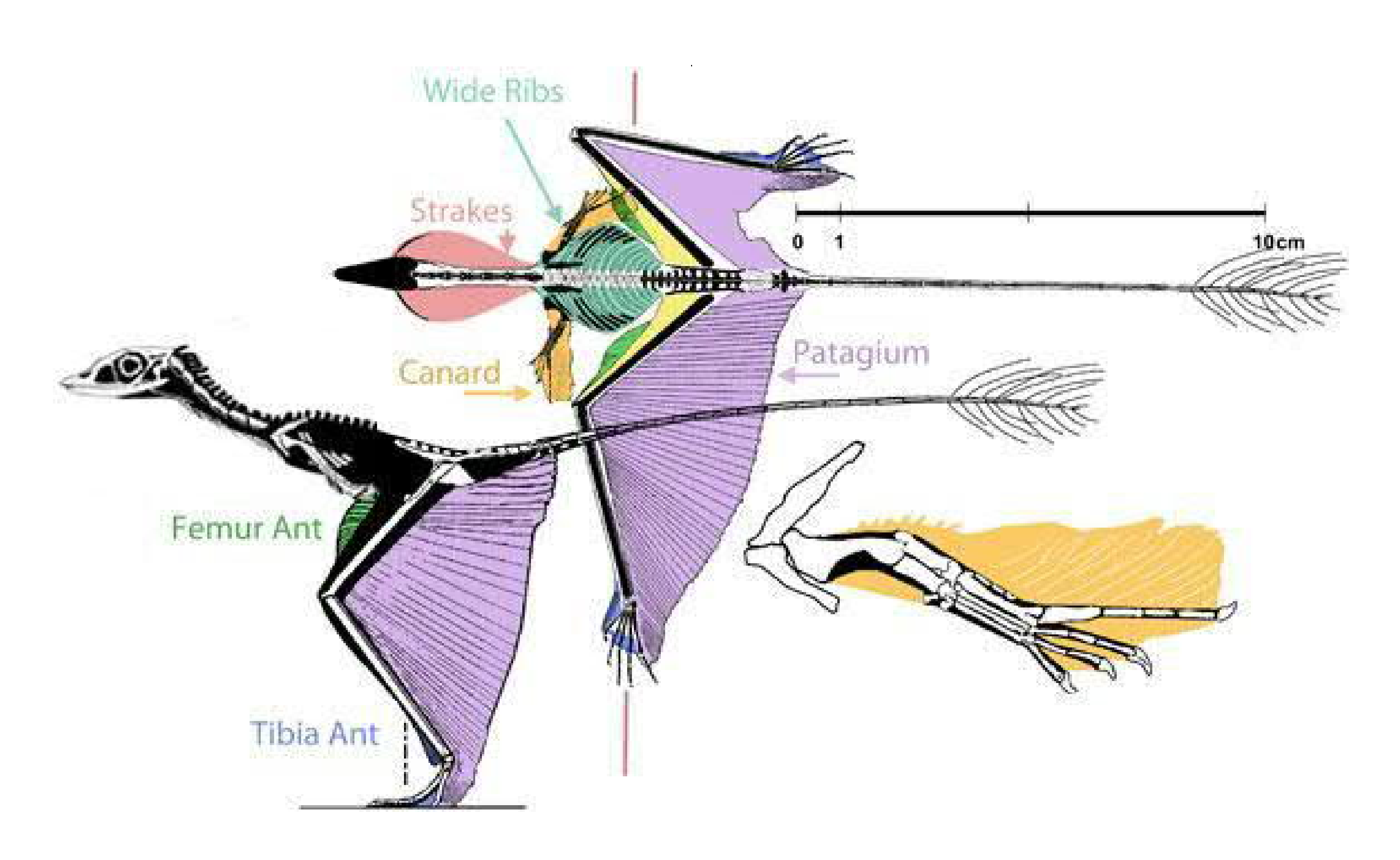
اقترح Carl Gans وزملاؤه الروس في عام ١٩٨٧م أن Sharovipteryx تزلق هوائيًّا على نحو جيد جدًّا، ربما بمساعدة بروز ناتئ متصل من الأمام يزيد التحكم أو الثبات canard، أو غشاء إضافي، ارتبط بالطرفين الأماميين القصيرين اللذين يبدوان عاديي الشكل (الصورة ١٣– ٥). يمكن الحفاظ على تحكم بالغ الدقة والحساسة في الطيران بحركة خفيفة من الطرفين الخلفيين إلى الأمام والخلف، كما في الكثير من الطيور المتزلقة في العصر الحالي. ويُستعمَل نظام مشابه ولو أنه أكثر بدائية في الطائرات متحركة [أو دوَّارة] الأجنحة swing–wing aircraft.



متحجرة Sharovipteryx mirabilis



الصور ١٣– ٤ و١٣– ٥ إعادة بناء Sharov ١٩٧١م للزاحف المتزلق Sharovipteryx [مجنح القدمين] من صخور العصر الترياسي في كازخستان، من خلال العينة الوحيدة المكتشفة له، وإعادة بناء اقترحها Carl Gans وزملاؤه الأكاديميون الروس عام ١٩٨٧م. لقد استطاعوا تطيير نموذج ناجح بإضافة بروز متصل بالطرف الأمامي لسطح الطيران. وعدة إعادات بناء متصوَّرة أخرى له.



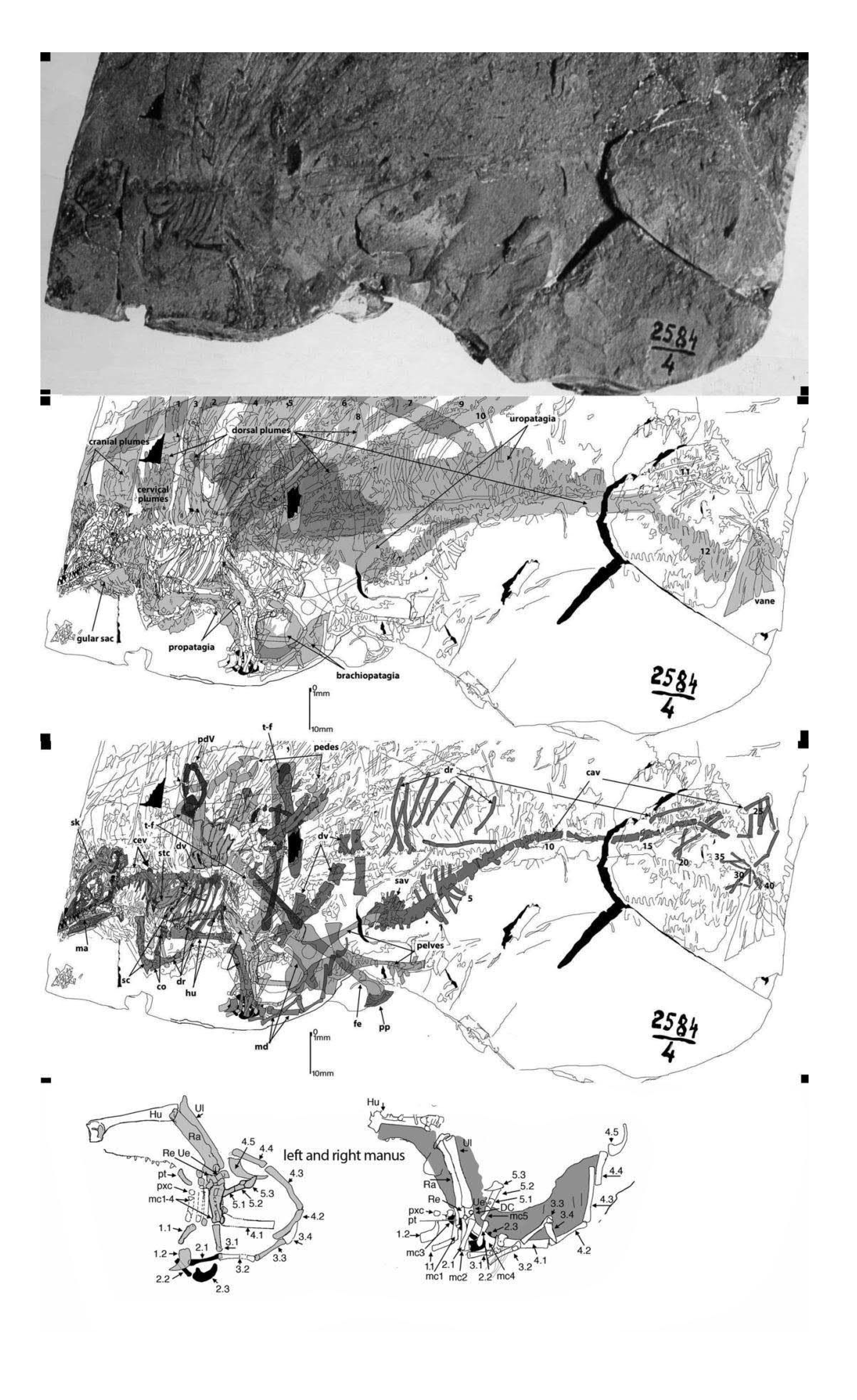


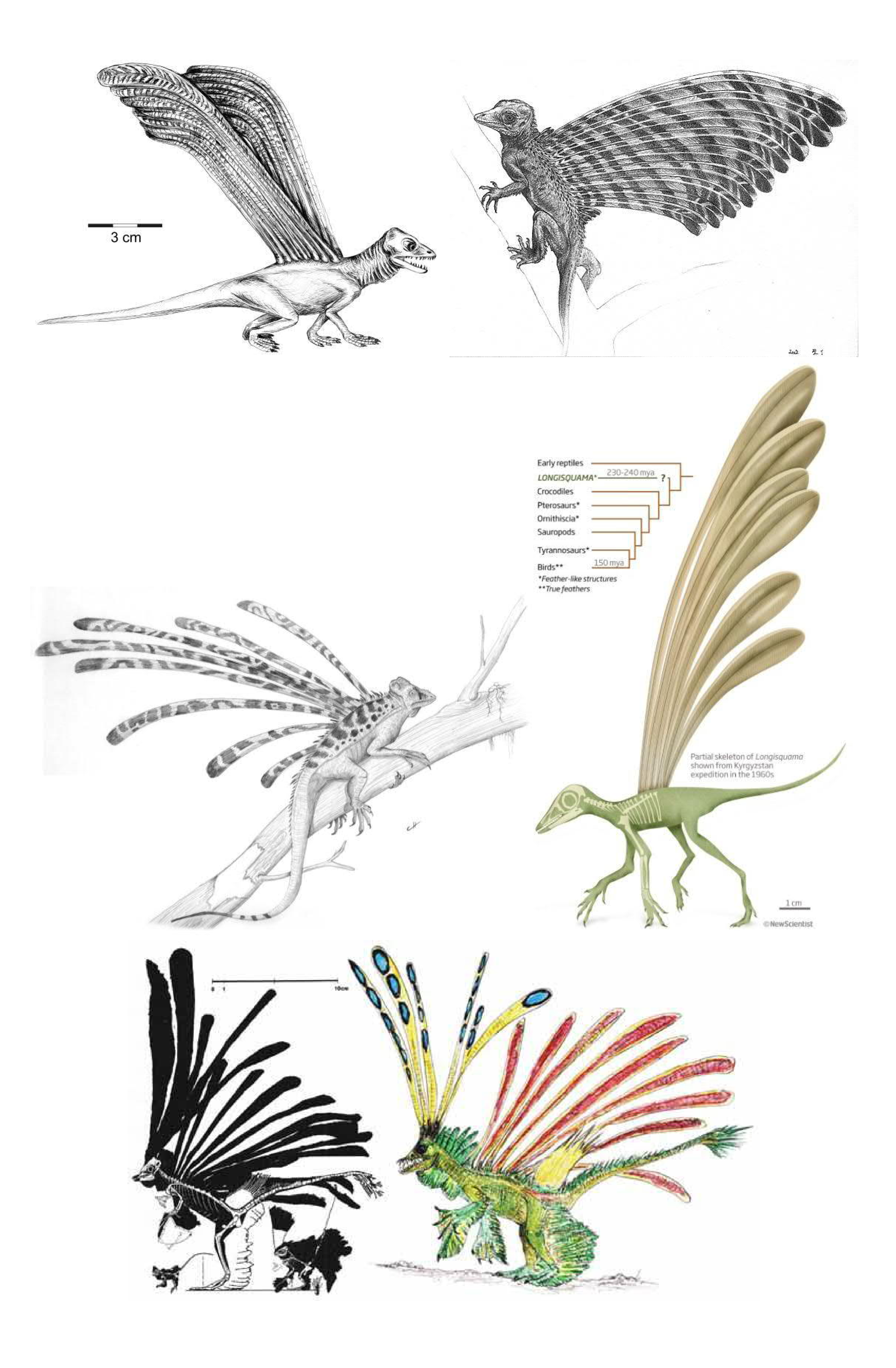
Sharovipteryx [مجنح القدمين]

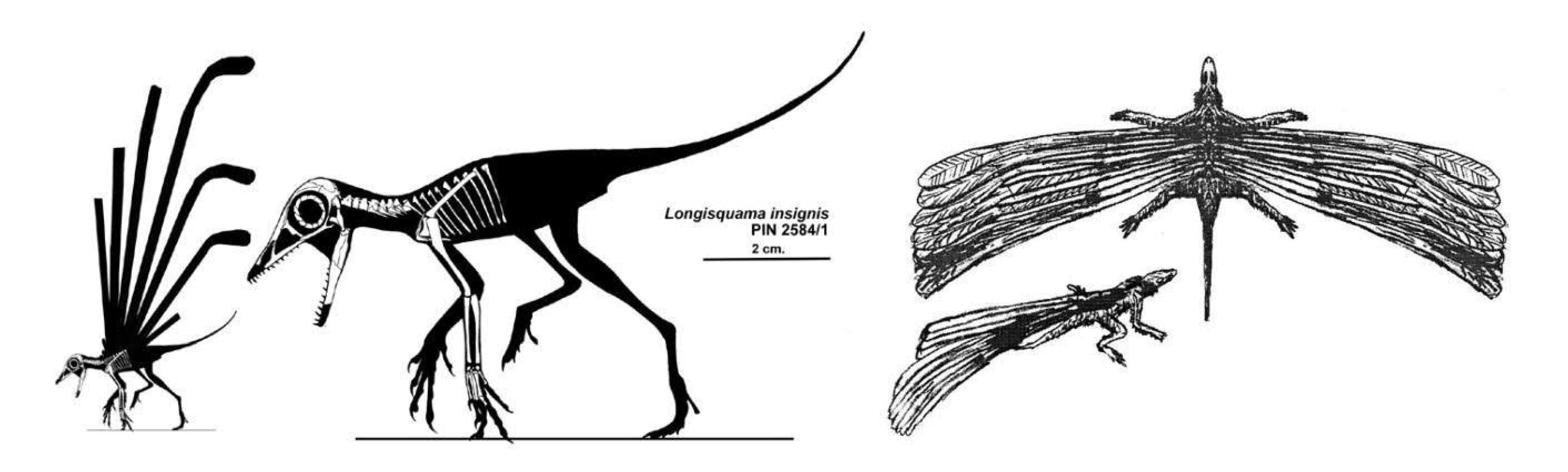
وكان Longisquama [الزاحف مستطال العظام المتجهة إلى الخلف العريضة الأطراف] زاحفًا غريب الشكل من نفس صخور العصر الترياسي مثل عمر Sharovipteryx [مجنح القدمين]. وتتضمن بقاياه المتحجرة سلسلةً من عظامٍ طويلة مسطحة ذوات أطراف عريضة النهايات ومقوسة. اقترحت Susan Evans سوزان إيڤانْزْ أنها كانت ضلوعًا [أو ضلعية الشكل] خاصة بسطح انسياب هوائيًّا رافعًا تزلقيًّا. ستكون خفة وتسطُّح العظام وتقوس أطرافها مفهومة كلها لو كان هذا صحيحًا. لقد كان Longisquama متزلِّقًا على الأرجح، شبيهًا جدًّا بفصيلة الزواحف المتزلقة مستطالة الأضلع kuehneosaurids.



متحجرتان لـ Longisquama [الزاحف مستطال العظام المتجهة إلى الخلف العريضة الأطراف]


2584
4
cranial plumes
cervical plumes
dorsal plumes
uropatagia
gular sac
propatagia
brachiopatagia
vane
1mm
10mm
pdV
t-f
pedes
dr
cav
sk
cev
stc
dv
sav
ma
sc
co
hu
pelves
md
fe
pp
left and right manus
Hu
Ul
Ra
Re
Ue
pt
pxc
mc1-4
DC
mc1
mc2
mc3
mc4
mc5


3 cm
Early reptiles
LONGISQUAMA*
230-240 mya
?
Crocodiles
Pterosaurs*
Ornithiscia*
Sauropods
Tyrannosaurs*
Birds**
150 mya
*Feather-like structures
**True feathers
Partial skeleton of Longisquama shown from Kyrgyzstan expedition in the 1960s
1 cm
©NewScientist
10cm



بعض إعادات البناء لـ Longisquama [الزاحف مستطال العظام المتجهة إلى الخلف العريضة الأطراف]، وقد طور بنيوات عظمية مغطاة بالجلد شبيهة ظاهريًا بريش الطيور

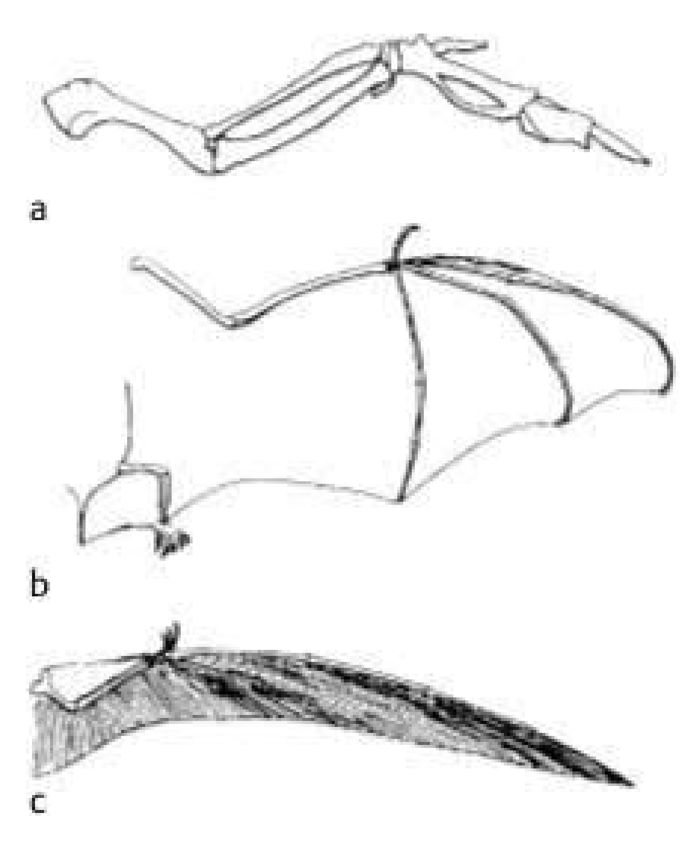
إن سطح الانسياب الهوائي الرافع لا يظهر بالسحر أو من العدم، وخاصة واحدًا قابلًا للطي. أوضح Robert Carroll روبِرْتْ كارول أنه ربما كانت هناك أسباب أخرى قوية لتطور بنية ضلعية ممطوطة ممتدة قابلة للطي. ربما استُعْمِلَتْ مساحة الجلد الكبيرة المكشوفة في تنظيم درجة حرارة الجسد، كمثال. ولو كانت الزواحف المنقرضة قد تصرفت مثل سحلية دراكو Draco الحية المعاصرة، فربما تكون استعملت أسطح الانسياب الهوائي الرافعة الخاصة بها للاستعراض وكذلك للتزلق، وربما تكون طورتها في الأول للاستعراض.

إننا نتعرف على متحجرات تلك الزواحف باعتبارها متزلقات لأنها امتلكت هياكل عظمية متخصصة. وبالمقارنة مع الفقاريات الصغيرة الأحجام الآكلة الحشرات في الغابات في العصر الحالي، فقد كانت هناك على الأرجح زواحف قافزة ومتزلقة كثيرة في المظلات الشجرية لغابات العصرين البرمي والترياسي، ذوات امتدادات جليدة غير مدعومة بعظام [وبالتالي يندر أن تترك أثرًا طباعيًّا في المتحجرات لأنها أنسجة طرية لا تتحجر]. لقد كانت المظلات الشجرية في الغابات على الأرجح ثريَّة بالكثير من أنواع البرمائيات والزواحف الصغيرة الأحجام الآكلة الحشرات.

الزواحف طويلة الإصبع المجنَّح (الذي دعم تركيبة الجناح الجلدي وانبسط عليه الجناح) Pterosaurs

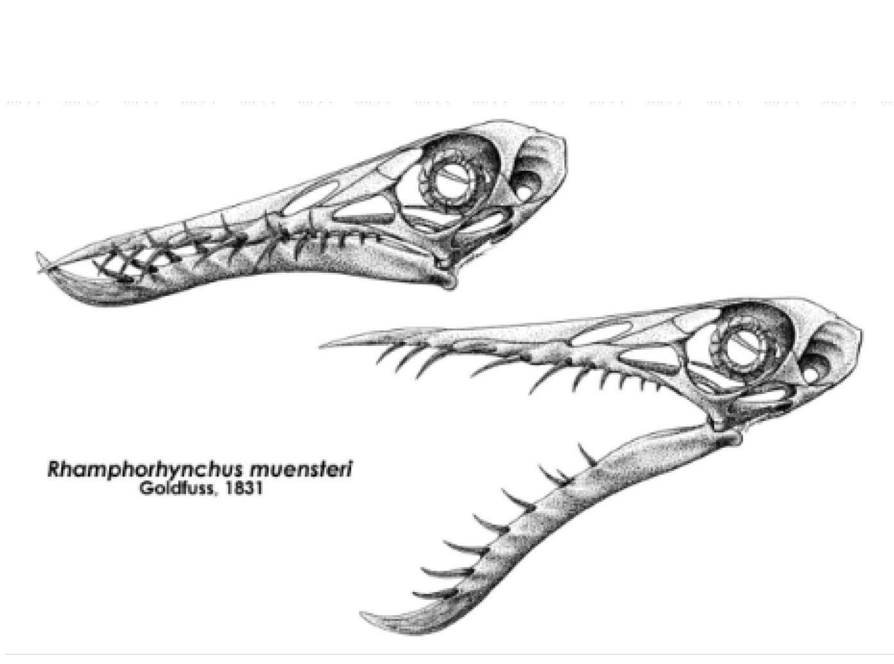
التيروسورات Pterosaurs أو الزواحف المجنحة المستطالة الإصبع الرابع المفرود عليه الجناح هي أشهر زواحف طائرة. لقد تطورت أيضًا في العصر الترياسي، لكنها كانت من االرتبة العليا الزواحف الحاكمة رتبة ذوات أمشاط الأرجل طيرية الشكل Ornithodira، على الأرجح وثيقة القرابة للديناصورات، وغير وثيقة القرابة البتةَ من السحالي المتزلِّقة هوائيًّا. إن أبكر التيروسورات [الزواحف المجنحة الإصبع المستطال] المكتشَفة حتى الآن كانت متكيِّفة بالكامل فعليًّا للطيران، لذلك فإن أسلافها البعيدة أو المباشرة ليست معروفة بعدُ.

كان للتيروسورات [الزواحف المجنحة الإصبع] هياكل عظمية خفيفة البنية جدًّا، ذوات فجوات هوائية في الكثير من عظامها. كان طرفاها الأماميان مستطالين في شكل دعامتين طويلتين دعم كلٌّ منهما جناحًا، كما في الطيور والخفافيش. رغم ذلك، فقد كانت التيروسورات [الزواحف المجنحة الإصبع] فريدة في كون معظم غشاء الجناح دعمه إصبع واحد طويل على نحو غير عادي، بينما كانت الثلاثة أصابع الأخرى عادية وتحمل مخالب. في أكبر الزواحف المجنحة الإصبع pterosaurs حجمًا كان طول الإصبع الرابع حوالي ثلاثة أمتار (عشر أقدام). على الخلاف من ذلك، في الطيور يدعم الجناحَ كاملُ الذراع، وتستعمل الخفافيش كل أصابعها كدعامات جسدية عبر أغشية جناحها (الصورة ١٣– ٦). بالتالي امتلكت التيروسورات تشريح [تركيبًا بنيويًّا لـ] جناحٍ فريدًا، لكن باعتبارها أكبر كائنات طائرة حجمًا مما تطور على الإطلاق وباعتبارها مجموعة ازدهرت لأكثر من ١٤٠ مليون سنة، فإننا لا نستطيع صرف النظر عنها بدعوى أنها بدائية أو رديئة التكيف.



الصورة ١٣- ٦ الاختلاف الهيكلية بين جناح (أ) طير و(ب) خفاش و(ج) زاحف مجنح الإصبع [تيروسور pterosaur]. لقد أعدت إنشاء جناح التيروسور على أنه ضيق، بالتوافق مع تصور Kevin Padian (انظر النص).

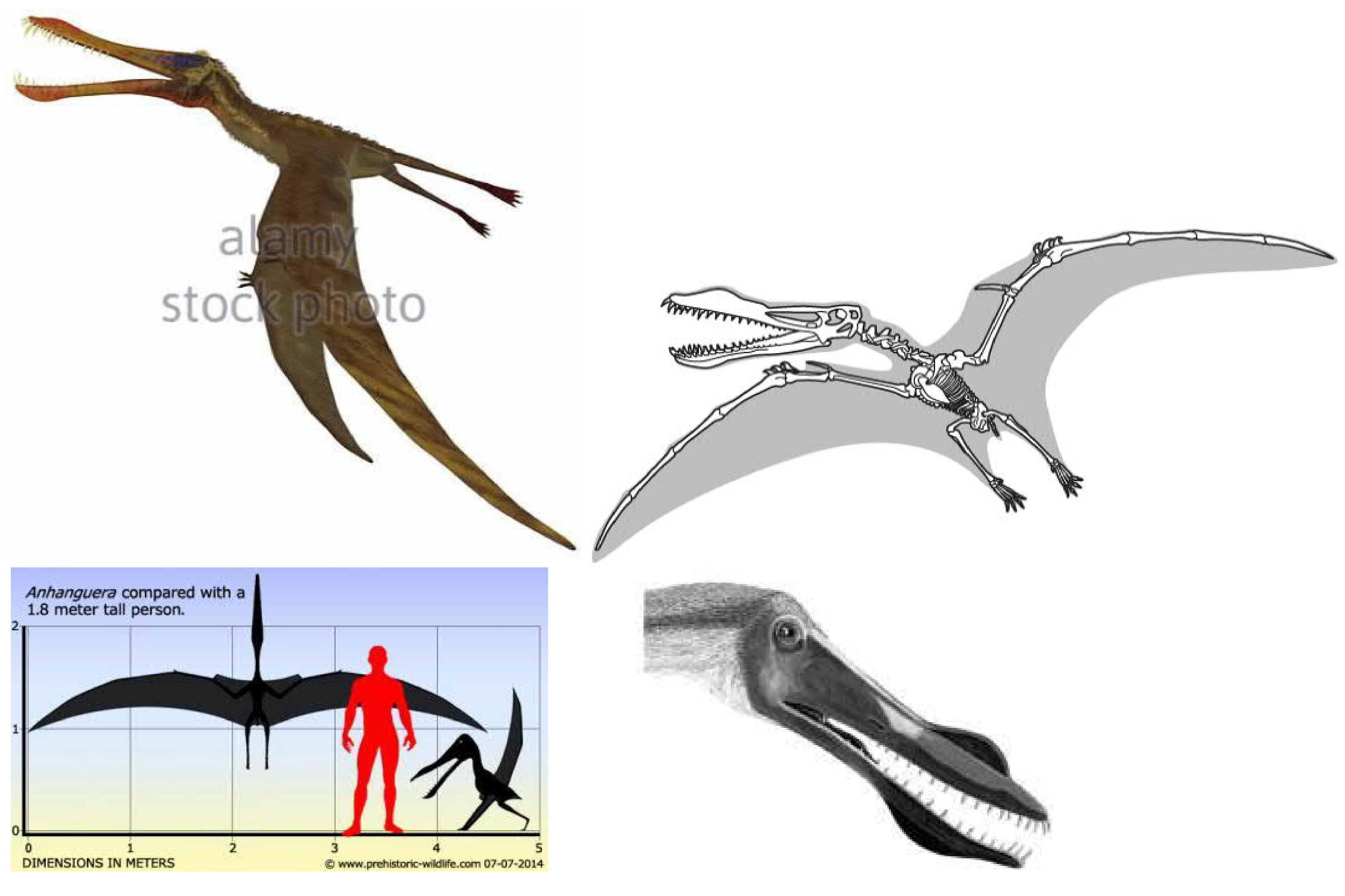
امتلكت معظم الزواحف المجنحة الإصبع عينين كبيرتين كانتا تَريان على طول فكين طويلين ضيقين خفيفي البنية. كانت الأسنان في العادة رفيعة وحادة، متجهة بارزة في كثير من الأنواع إلى الخارج والأمام قليلًا (الصورة ١٣- ٧). هذا كان على الأرجح تكيفًا لصيد الأسماك. كل متحجرات الزواحف المجنحة الإصبع تقريبًا محفوظة في رواسب مترسبة على القيعان الضحلة للبحار، وحيثما كانت محتويات المعدة محفوظة مع الهياكل العظمية للزواحف المجنحة الإصبع، فإنها تحتوي دائمًا على بقايا سمكية كالأشواك والقشور. ربما اصطادت بعض الزواحف المجنحة الإصبع أثناء طيرانها، كالطيور الحية مثل زمج الماء [طائر المازور؛ طائر النوء] وطيور أبي مقص [كاشط الماء] gadfly petrels or skimmers، والتي تطير فوق سطح الماء لصيقًا وتغطِس مناقيرَها لاغتراف السمك أو القشريات. يستطيع المرء تصور النوع Anhanguera [يعني اسمه الشيطان القديم!] يفعل ذلك (الصورة ١٣- ٨). ربما تغذت أنواع أخرى من الزواحف المجنحة الإصبع مثل طيور الخرشنة [الخطاف المائي]، والذي يغوص ببطء بحيث تكون رأسه ورقبته ومقدمة صدره فقط تصل تحت الماء، بينما يبقى الجناحان فوق سطح الماء. ربما صادت بعض الزواحف المجنحة الإصبع ذواتُ المناقيرِ الحادة الطويلة الأسماكَ واقفةً في الماء أو مراقبةً للماء بجواره، كطيور البلشون [المعروف بمالك الحزين]. ويبدو غير مرجَّحٍ أن الزواحف المجنحة الإصبع غاصت بقوة وارتطام بالماء مثلما يفعل البجع والأطيش، أو أن تكون سبحت تحت الماء كالبطاريق؛ لأن أجنحة الزواحف المجنحة الإصبع كانت طويلة للغاية وهشة للغاية. وكان لواحد على الأقل من الزواحف المجنحة الإصبع _وهو Pterodaustro [الزاحف الطائر الجنوبي الأرجنتيني] من الأرجنتين_ أسنان رقيقة طويلة وكثيرة لدرجة أنه لا بد أنه قد كان متغذيًا بترشيح الماء، ربما مثل طائر الفلامِنجو [النحام، البشروس]، وقد بدا Ctenochasma [يعني اسمه ذو الفك المتقارب الأسنان] أيضًا متغذِّيًا بترشيح الماء (الصورة ١٣- ٩). وربما أكلت بعض الزواحف المجنحة الإصبع القصيرة الفكين القشريات الشاطئية أو الحشرات.






200 mm
Rhamphorhynchus muensteri
Rhamphorhynchus compared with a 1.8 meter tall person.
1
0
0
1
2
3
DIMENSIONS IN METERS
© www.prehistoric-wildlife.com

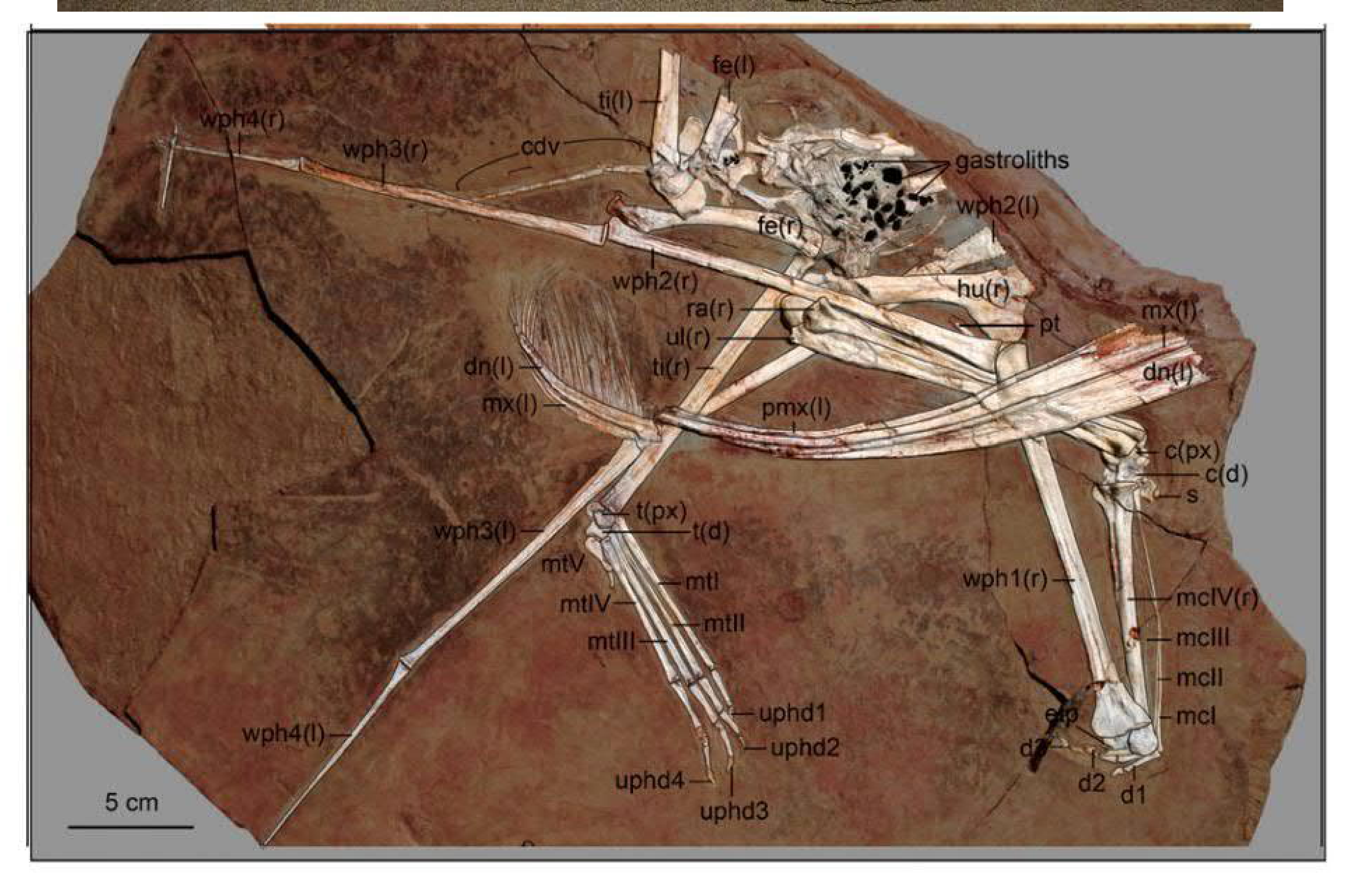
الصور ١٣– ٧ جمجمة تيروسور آكل للسمك نمطي، نوع Rhamphorhynchus [يعني اسمه ذو الخطم المنقاري الشكل]، وهي جمجمة ذات أسنان حادة مدببة والتي كانت ناتئة خارجة قليلًا لخزق واختراق السمكة بالإغلاق عليها.



الصور ١٣– ٨ Anhanguera [يعني اسمه الشيطان القديم!] من صخور العصر الطباشيري في البرازيل. ربما اصطاد أثناء طيرانه كالطيور الحية مثل زمج الماء [طائر المازور؛ طائر النوء] وطيور أبي مقص [كاشط الماء] gadfly petrels or skimmers، والتي تطير فوق سطح الماء لصيقًا وتغطِس مناقيرَها لاغتراف السمك أو القشريات





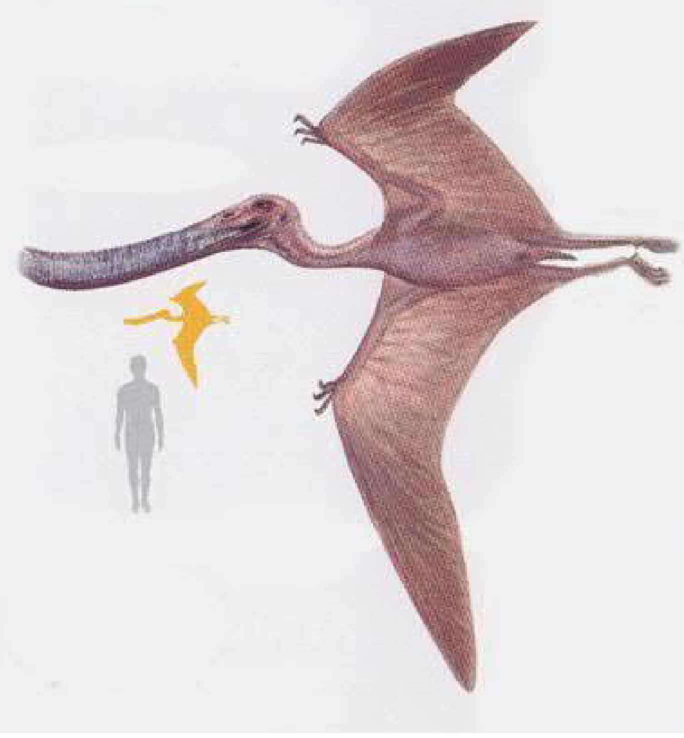


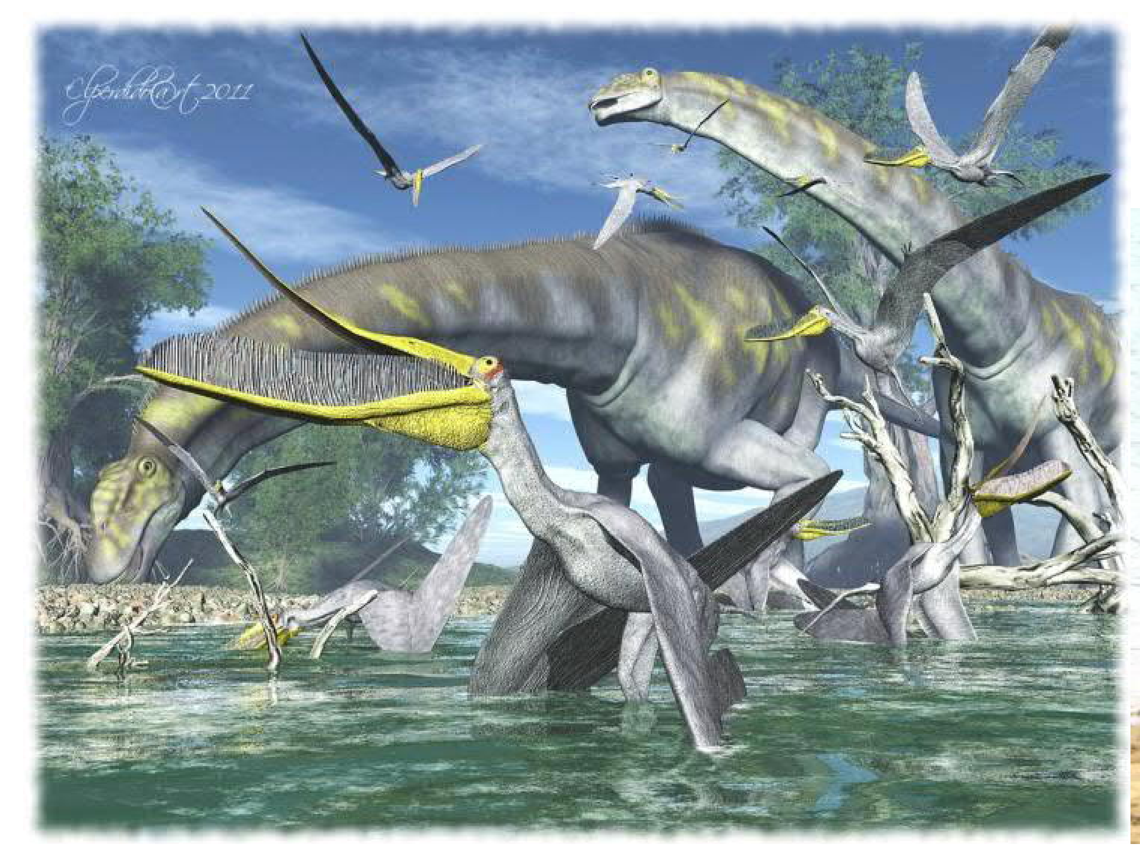

1
2
3
4
5
6
7
8
0 1 5 10mm



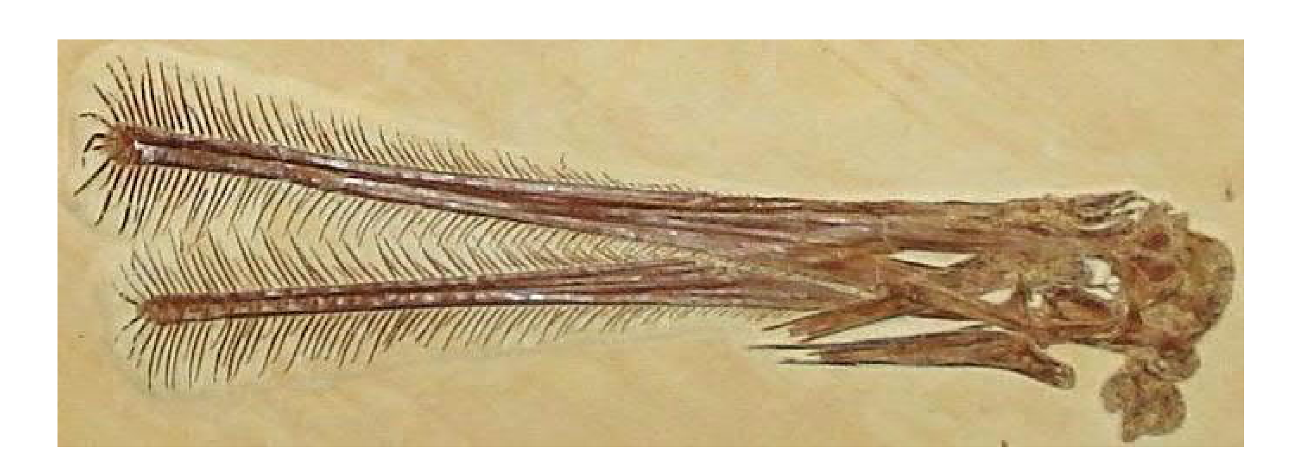



VCREATURES.TUMBLR.COM






Pterodaustro [الزاحف الطائر مجنح الإصبع الجنوبي أي الأرجنتيني] كان متغذيًا بترشيح الماء، ربما مثل طائر الفلامِنجو [النحام، البشروس]

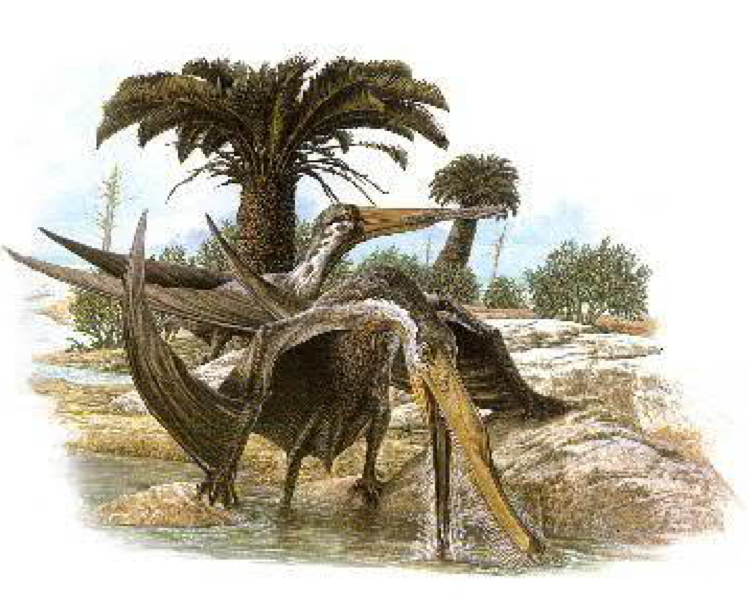




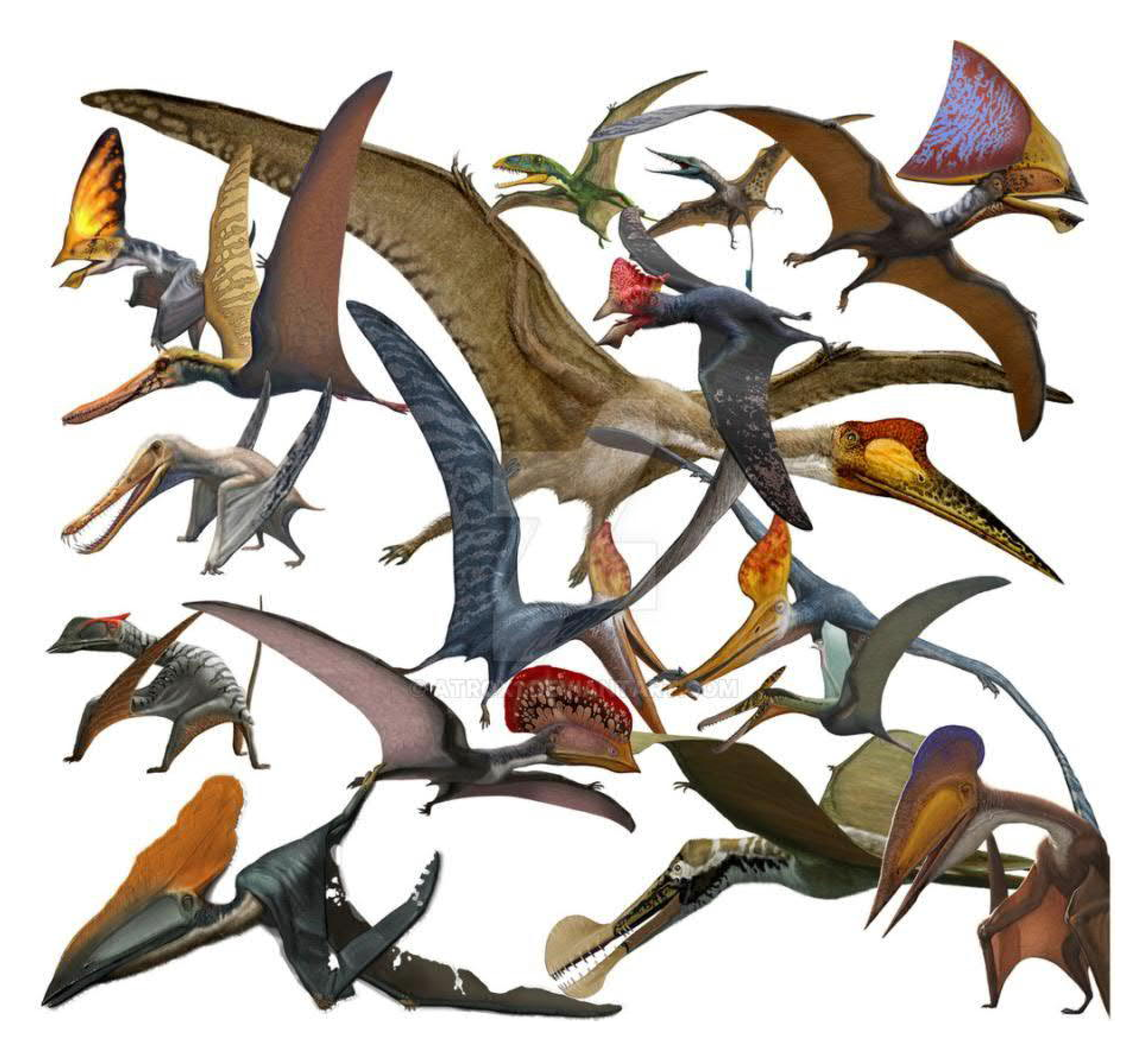


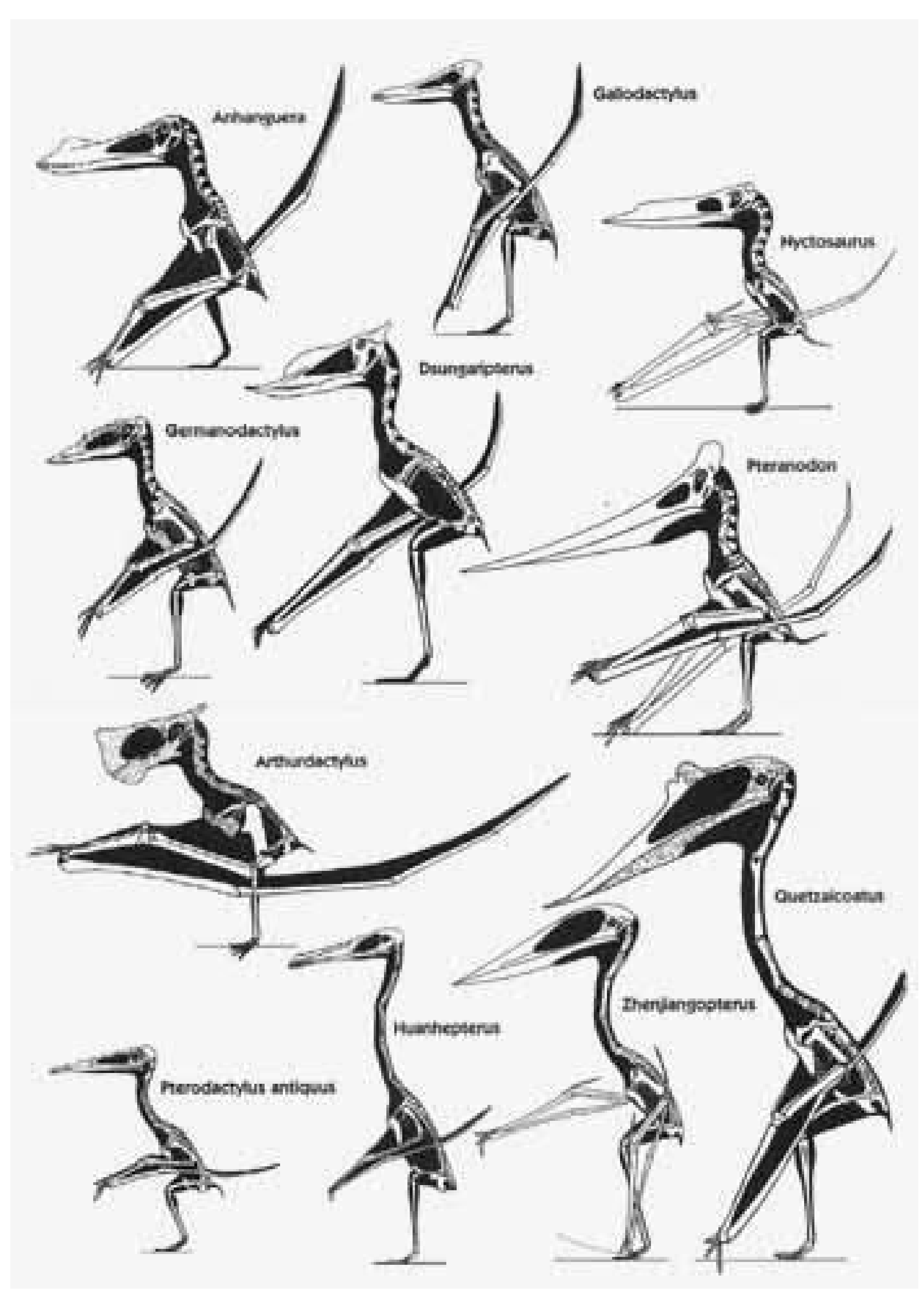




الصورة ١٣-٩ Ctenochasma elegans [متقارب أسنان الفك] ، والذي اغترف الماء على الأرجح ورشَّح [صفَّى] الفرائس الصغيرة منه.

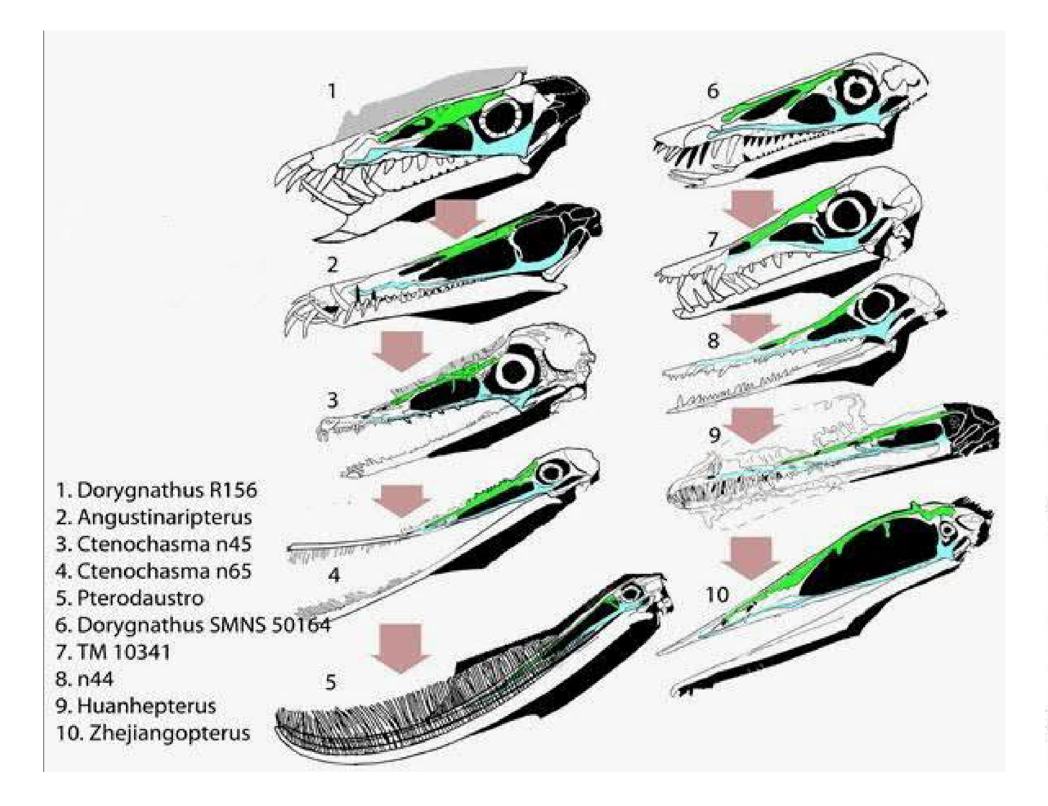



Anhanguera
Gallodactylus
Nyctosaurus
Dsungaripterus
Germanodactylus
Pteranodon
Arthurdactylus
Quetzalcoatlus
Huanhepterus
Zhenjiangopterus
Pterodactylus antiquus

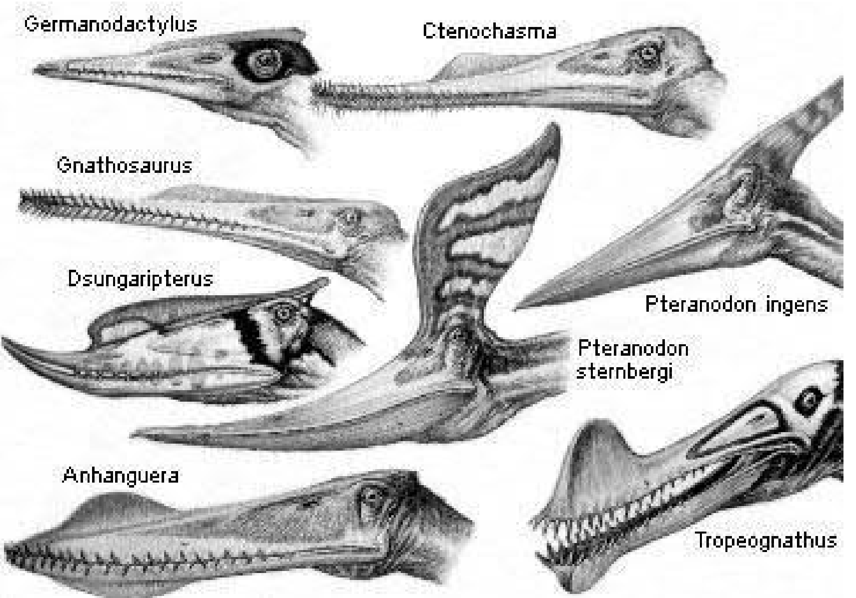




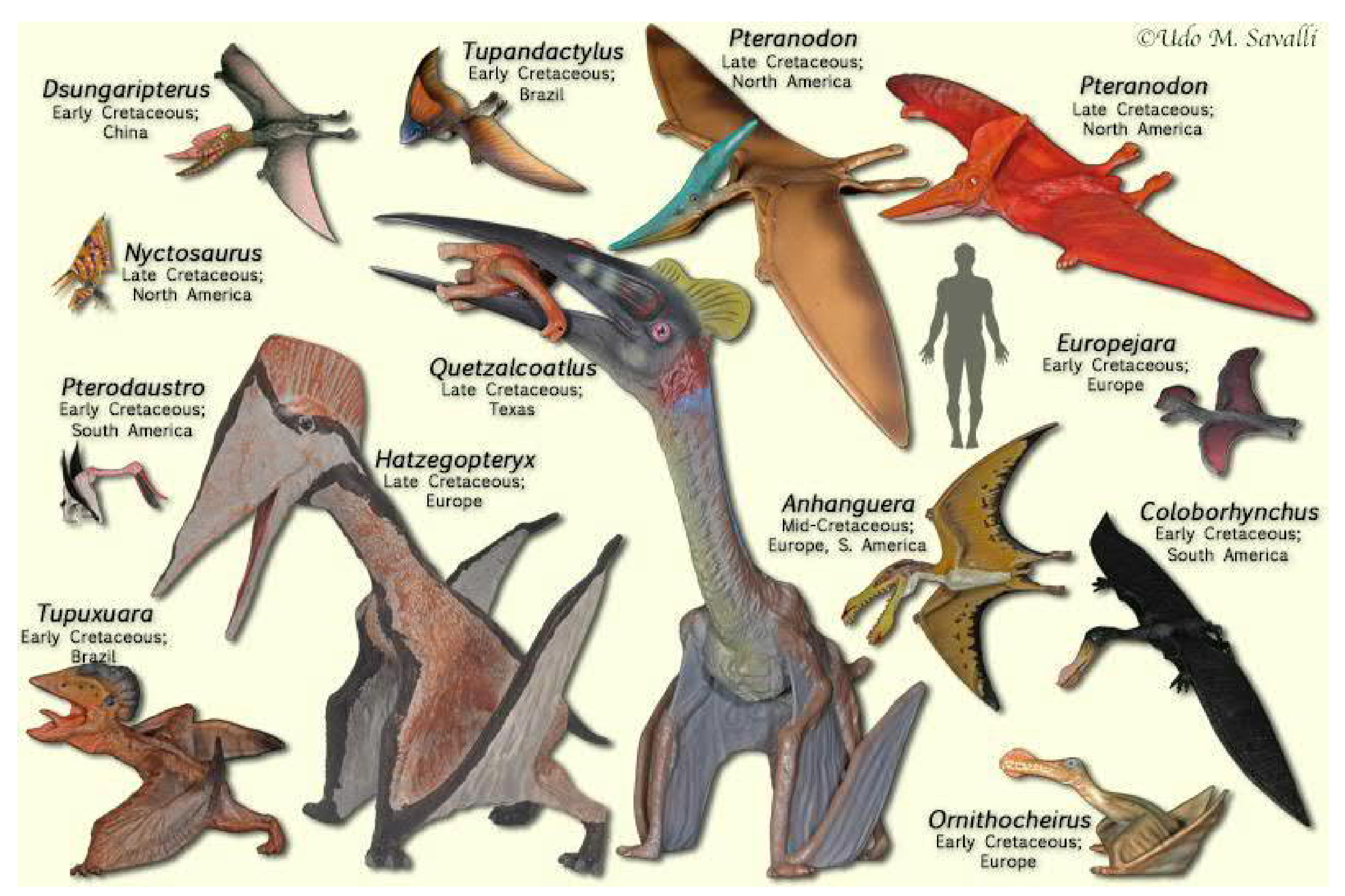
Pterosaurs
The Flying Reptiles



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1. Dorygnathus R156
2. Angustinaripterus
3. Ctenochasma n45
4. Ctenochasma n65
5. Pterodaustro
6. Dorygnathus SMNS 50164
7. TM 10341
8. n44
9. Huanhepterus
10. Zhejiangopterus



Germanodactylus
Ctenochasma
Gnathosaurus
Dsungaripterus
Pteranodon ingens
Pteranodon sternbergi
Anhanguera
Tropeognathus



مجموعة صور للزواحف المجنحة الإصبع الرابع المستطال [التيروسورات pterosaurs]

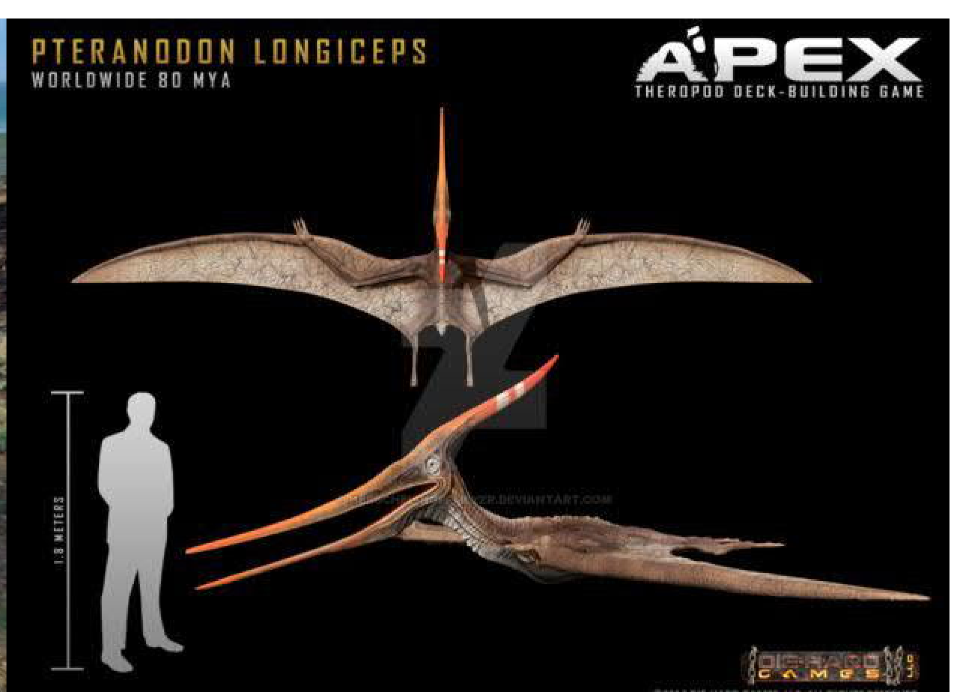
لو كان علي أن أختار نظيرًا إيكولُجيًّا معاصرًا واحدًا لمعظم الزواحف المجنحة الإصبع الرابع المستطال، لكنت سأختار طيور الفرقاط frigate. فلهذه الطيور البحرية الاستوائية أخف وزن جناح من بين أي طائر، وهي تقضي أيامًا في المرة الواحدة خارجًا عند البحر بعيدًا عن الشاطئ، محلّقة بلا رفرفة فوق المحيط، ربما نصف نائمة أثناء طيرانها. من آنٍ إلى آخر تنزل إلى سطح الماء لتلتقط سمكةً، لكنها لا تغوص في الماء، فهي لا تستطيع حتى الهبوط على سطح الماء لأن ريشها غير مانع للماء. وهي تستغرق وقتًا أطول من أي طائر لتربية أفراخها، وهي تعيش لأكثر من ثلاثين عامًا.

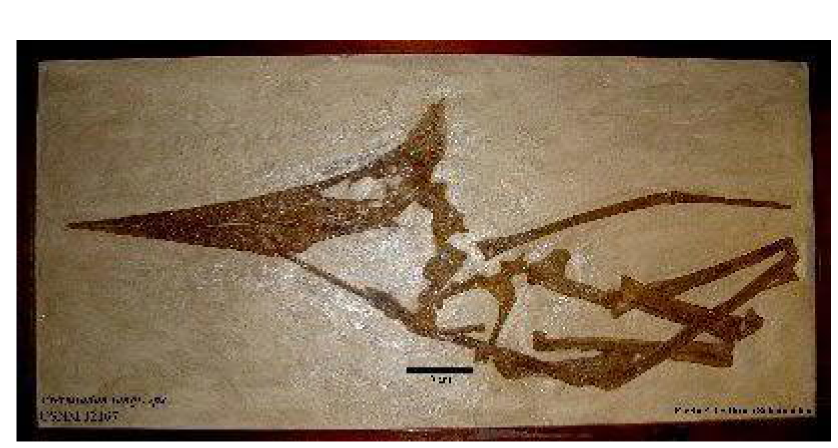
هناك مجموعتان رئيسيتان من الزواحف المجنحة الإصبع pterosaurs. إن Rhamphorhynchoids [الزواحف الطائرة مجنحة الإصبع الرابع المستطال الأولية، ويعني اسمها "ذوات الخطوم المنقارية" ولو أن الاسم لا يميزها عن الكثير من الأنواع المتطورة] هي المجموعة المنبتية التطورية الخاصة بالزواحف المجنحة الإصبع pterosaurs المبكرة، المصنفة كذلك على أساس المنبت التطوري، وهي ليست فرعًا تطوريًّا. عاشت في الفترة من العصر الترياسي المتأخر إلى الجوارسي المتأخر. كان عرض الجناحين لدى معظمها أقل من مترين (٦ أقدام)، وكان بعضها صغيرًا بحجم العصافير. وكان لبعض أنواعها على الأقل أعرافٌ على رؤوسها، وذيلًا طويلًا رفيعًا قويًا متصلِّبًا يحمل قرصًا شبيه البنية بالريشي عموديًّا فوق آخره. لقد كانت تلك الذيول على الأرجح مثبِّتات ديناميكية في أثناء الطيران.

أما Pterodactyloids [الزواحف المجنحة الإصبع الرابع المستطال المتطورة، ومعنى الاسم "مجنحة الإصبع" ولو أنه اسم لا يميزها عن الـ Rhamphorhynchoids الأولية] فهي فرع تطوري من الزواحف المجنحة الإصبع المتقدمة المتطورة التي حلَّتْ محلَّ الـ Rhamphorhynchoids [الزواحف الطائرة مجنحة الإصبع الرابع المستطال الأولية] في العصر الجوارسي المتأخر وازدهرت حتى نهاية العصر الطباشيري. لم يكن للـ Pterodactyloids [الزواحف المجنحة الإصبع الرابع المستطال المتطورة] ذيولٌ، وكان الكثير منها أكبر من الـ Rhamphorhynchoids [الزواحف الطائرة مجنحة الإصبع الرابع المستطال الأولية]. وكانت الأنواع الكبيرة الأحجام منها متكيفة للطيران المحلّق بلا رفرفة، وليس للطيران المرفرف المستمر، رغم أنها كلها رفرفرت للإقلاع. وكان النوع نفسه Pterodactylus [الذي منح اسمَه للرتبة الفرعية كلها، ويعني مجنح الإصبع] بحجم العصفور، في حين كان للنوع Pteranodon [الزاحف الطائر العديم الأسنان] من العصر الطباشيري في أمِركا الشمالية عرض جناحين حوالي ٧ أمتار، وكان للزاحف العملاق المجنح الإصبع Quetzalcoatlus [اسمه مأخوذ من اسم إله مكسيكي من أساطير حضارة الأزْتِك القديمة على شكل أفعى ذات ريش يُدعَى Quetzalcoatl] عرض جناحين يتراوح من ١٠ إلى ١١ مترًا، وهو أكبر كائن طائر معروف مما قد تطور على الإطلاق. وقد عُثِرَ على مجموعة غير كاملة من متحجرات التيروسورات [الزواحف المجنحة الإصبع] في رومانيا قد تكون قطعًا من نوعٍ أضخم، وتتراوح التقديرات له حول رقم ١٢ مترًا لعرض الجناحين.




BUSTLING ISLAND
Vlad Konstantinov, 2011

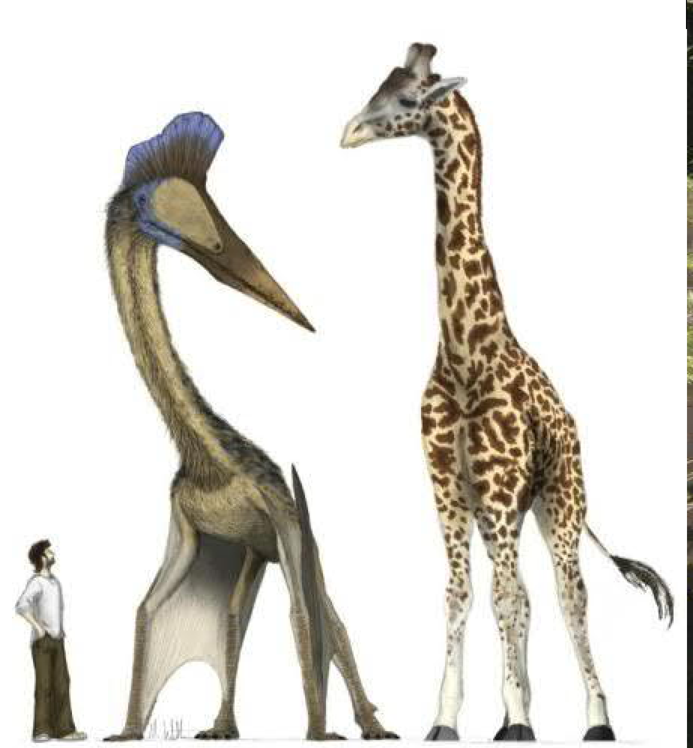

PTERANODON LONGICEPS
WORLDWIDE 80 MYA
APEX
THEROPOD DECK-BUILDING GAME







كان للنوع Pteranodon [الزاحف الطائر العديم الأسنان] من العصر الطباشيري في أمِركا الشمالية عرض جناح حوالي ٧ أمتار

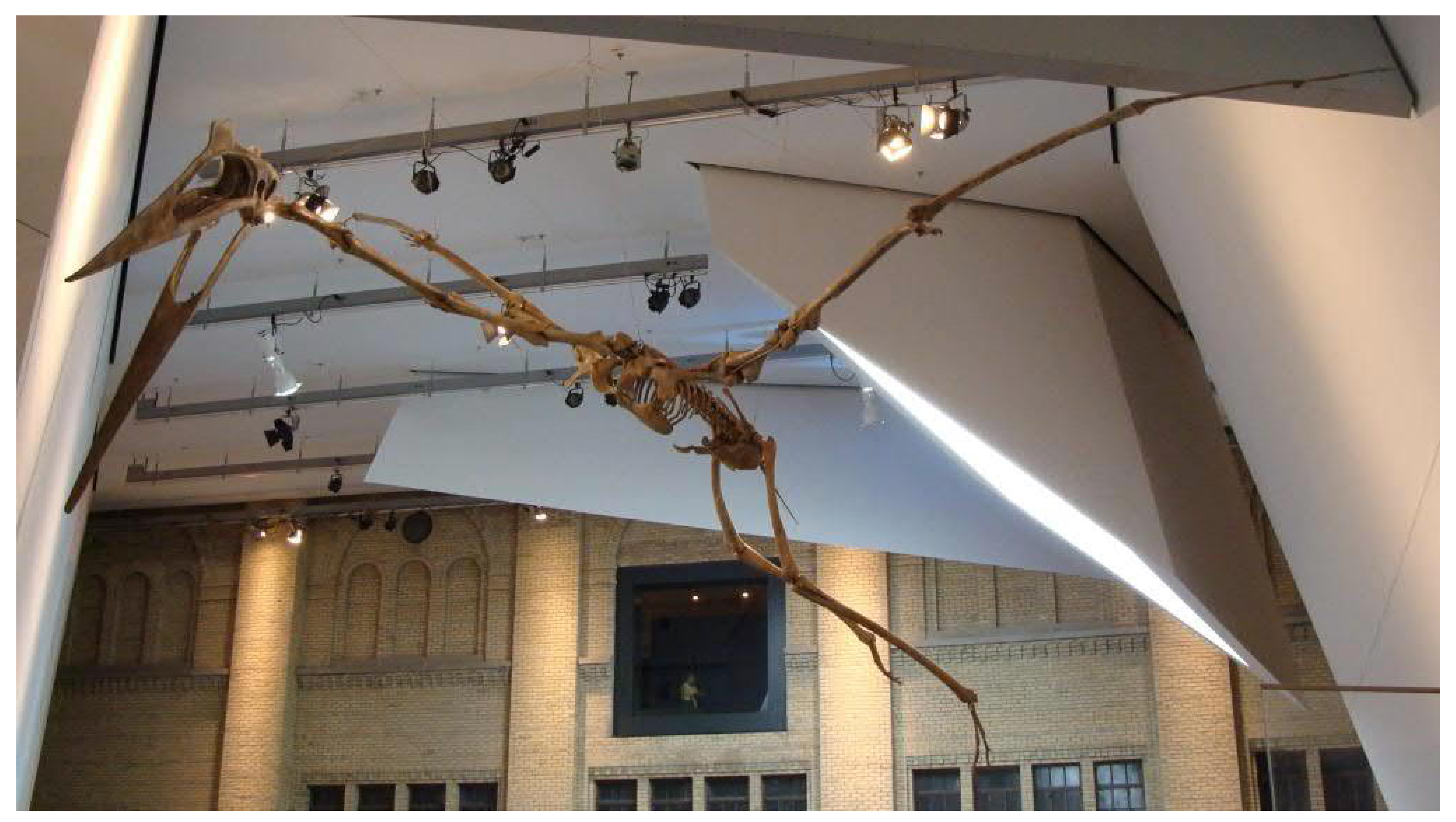


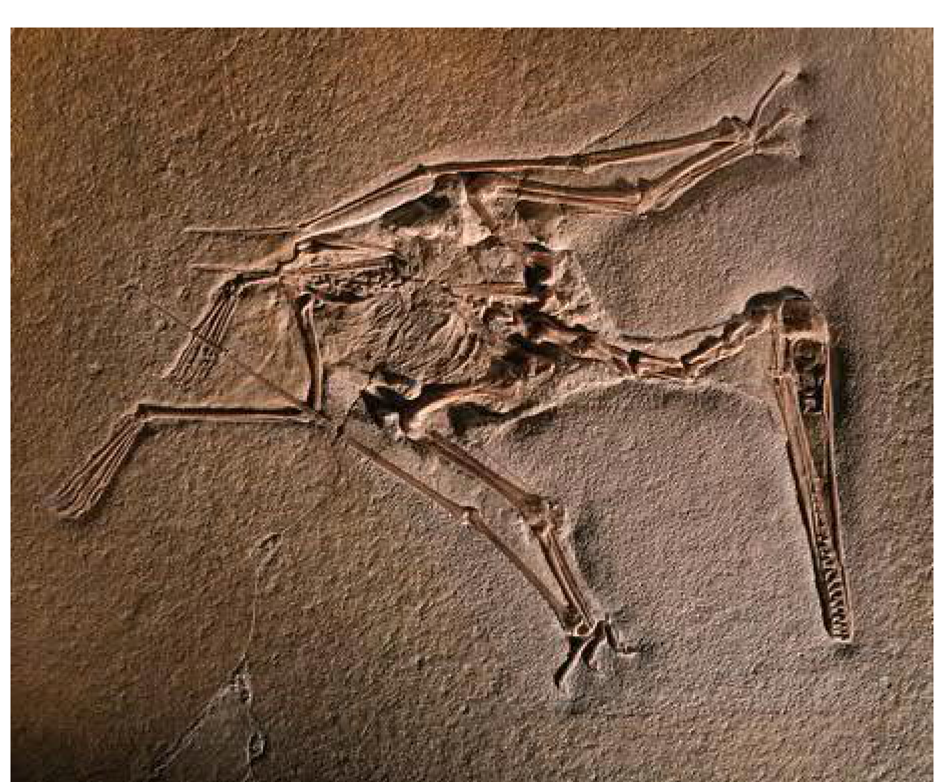

© J.Kuether




VCREATURES.TUMBLR.COM

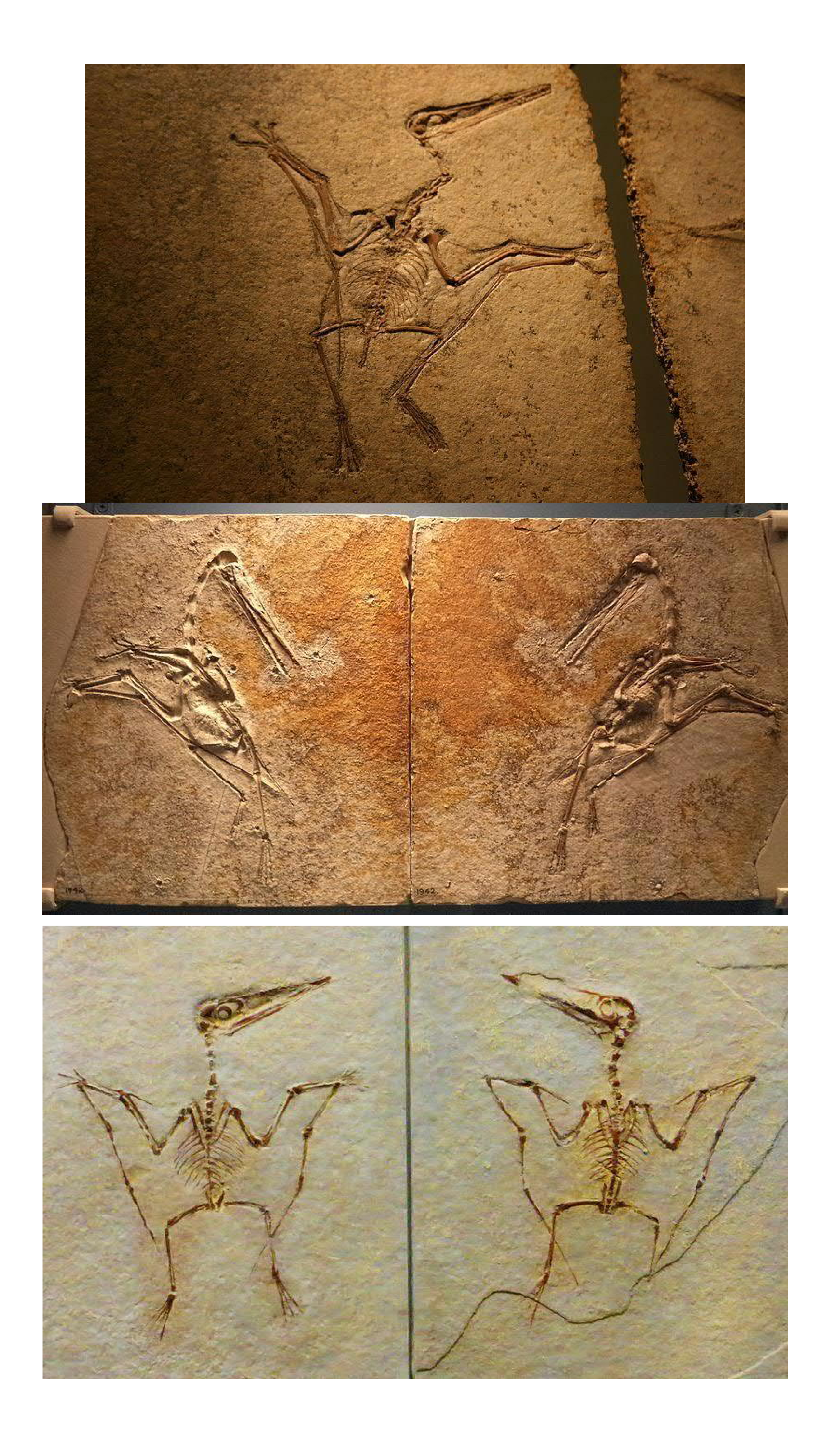


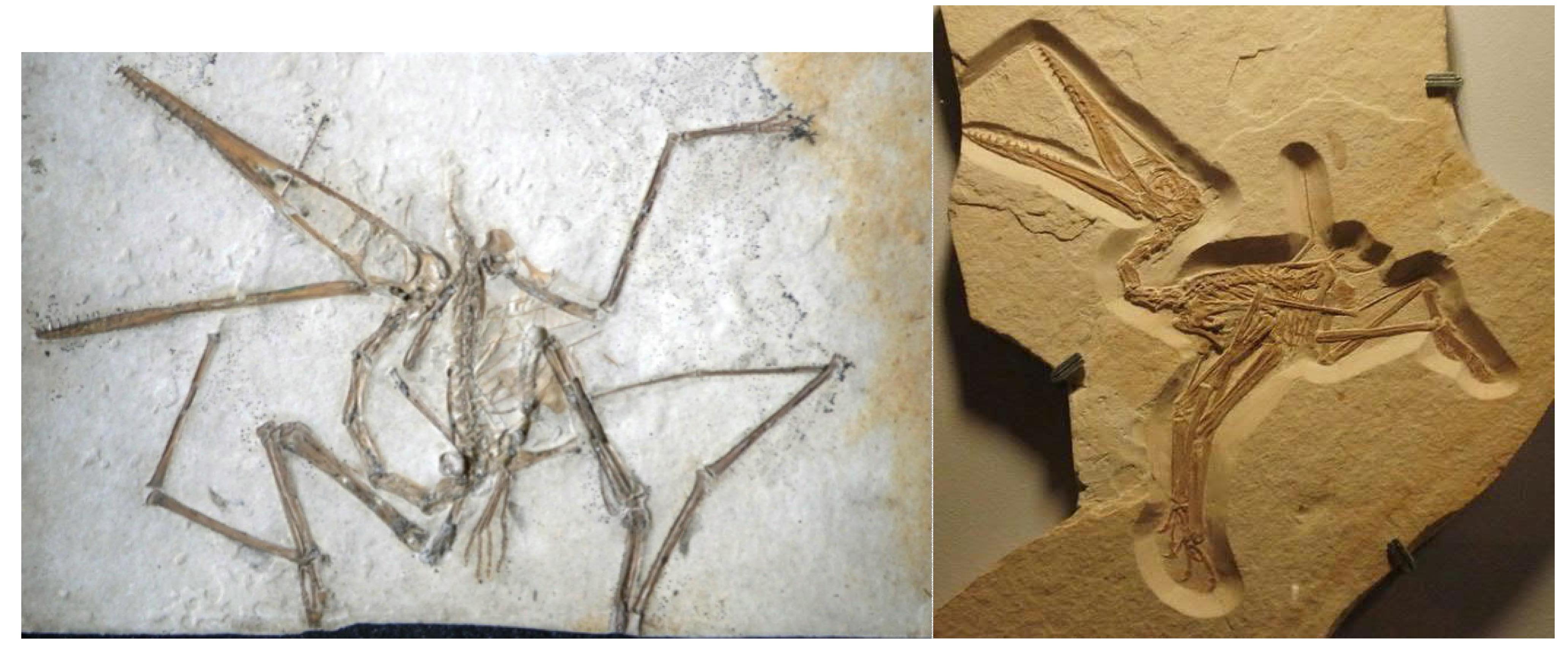




كان للزاحف العملاق المجنح الإصبع Quetzalcoatlus [اسمه مأخوذ من اسم إله مكسيكي من الأساطير القديمة على شكل أفعى ذات ريش يُدعَى Quetzalcoatl] عرض جناحين يتراوح من ١٠ إلى ١١ مترًا



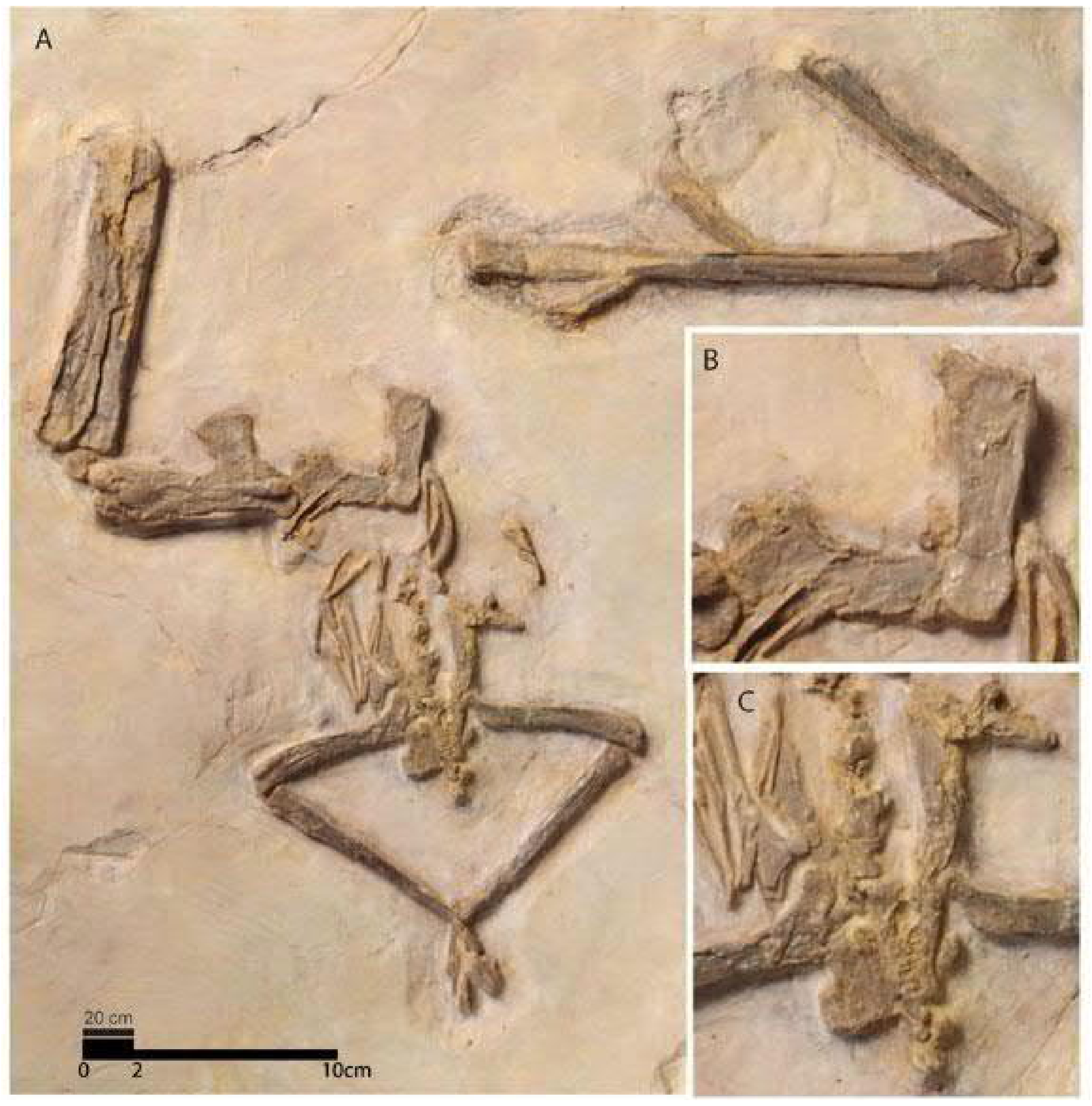




كان النوع pterodactyl بحجم العصفور المعاصر

رغم أن عظام الزواحف المجنحة الإصبع الرابع [التيروسورات pterosaurs] كانت خفيفة وهشَّة، فقد أظهرت لنا العديد من الأمثلة والنماذج المحفوظة كمتحجرات على نحوٍ مدهش رائع الكثيرَ من التفاصيل الخاصة ببُنْيَتِها. فأظهرت لنا متحجرات الطين الصفحي الأسود في صخور العصر الجوارسي الأدنى [الأقدم] في جرمانيا تفاصيل خاصة بالـ rhamphorhynchoids [التيروسورات الأولية]، وقد عُثِرَ على أفراد من كلا مجموعتي التيروسورات من العصر الجوارسي المتأخر محفوظين كمتحجرات على نحوٍ فاتن في الحجارة الجيرية بمنطقة Solnhofen بجرمانيا [ألمانيا] وفي رواسب بحيرة في كازخستان في آسيا الوسطى. وعُثِرَ على متحجرات أجزاء هياكل عظمية من العصر الطباشيري الأدنى [الأقدم] من البرازيل محفوظة بدون انسحاق؛ واكتُشِفَ من طُبَيْقات الطباشير الخاصة بالعصر الطباشيري الأعلى [المتأخر] في كنساس عيناتٌ ضخمة من النوع Pteranodon [الزاحف الطائر العديم الأسنان]. وقد مكَّنَتْ اكتشافاتٌ لمتحجرات الجلد وأغشية الأجنحة ومحتويات المعدة العلماءَ من الفهم والتفسير البيولُجيِّ لتلك الحيوانات المثيرة.

رغم ذلك، تتنوع تلك التفسيرات وطرق الفهم على نحو واسع. فالزواحف المجنحة الإصبع [التيروسورات pterosaurs] ليس لها أنسال تطورية حية لنستطيع دراستها، ولم نجد أسلافها. يصعُب اختيار نظير مشابه حي؛ فينظر بعض العلماء إلى الخفافيش للاسترشاد بها في مجالي التشريح ووظائف الأعضاء، بينما ينظر آخرون إلى الطيور. إلا أن هناك أمورًا قلائلَ واضحاتٍ جدًّا؛ فكل الزواحف المجنحة الإصبع pterosaurs _بما فيها الأنواع العملاقة_ كانت قادرة على الطيران المرفرِف القوي. وكلها كان لها صفيحة عظمية كبيرة على مقدمة القفص الصدري كانت تتعلق بها وتُربَط عضلات الطيران القوية. وعند الطرف الآخر للجناح، كانت العضلات القوية تتعلق بحافة بارزة [فَلَنْجَة] عريضة عند أعلى الذراع (الصورة ١٣– ١٠). لكنَّ الخلاف والجدال ثار حول خمس مسائل: كيف كان شكل جناحي التيروسورات؟ وكيف كانت تطير بالضبط؟ وكيف كانت تقف وتسير على الأرض؟ ماذا كانت أسلاف التيروسورات؟ وكيف طوَّرَتْ التيروسورات الطيرانَ؟ سأقدم هنا التفاسير التي أعتقد أنها أكثر معقوليةً، أما التفسيرات البديلة الأخرى فناقشتُها على صفحة الإنترنت الخاصة بالكتاب.





الصورة ١٣- ١٠ كانت عظمة العضد في كل الزواحف المجنحة الإصبع بها فلنجة أو حافة بارزة كانت عضلات الطيران القوية تتعلق بها. هذه العظمة من النوع Nyctosaurus [يعني اسمه الزاحف مجنح الإصبع ذو الجناح الشبيه بالخفاش]

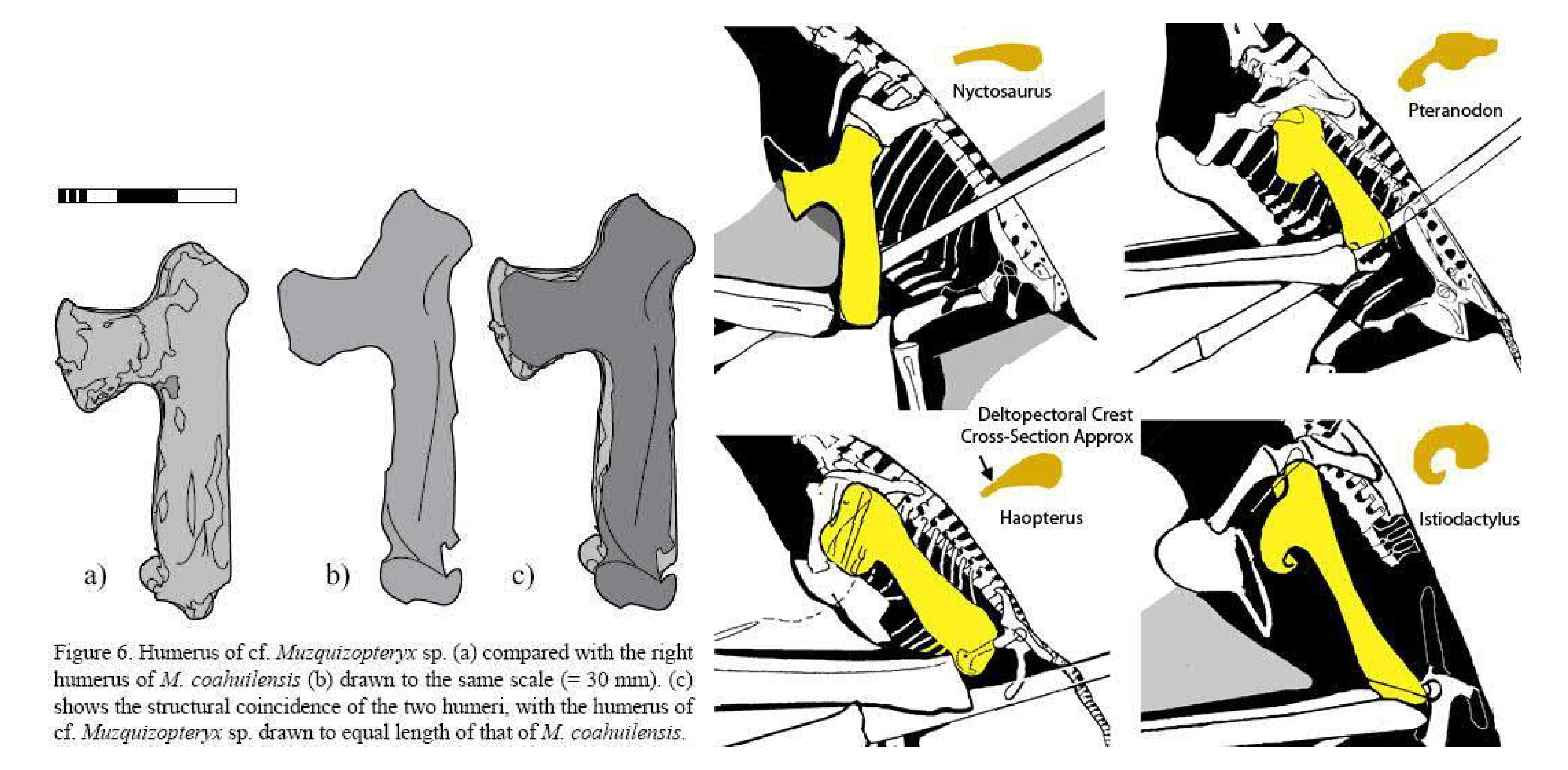




عظمة عُضَد pteranodons [الزاحف المجنح الإصبع العديم الأسنان] الضخم، عينتان رقم FHSM VP-2183 و VP-2141



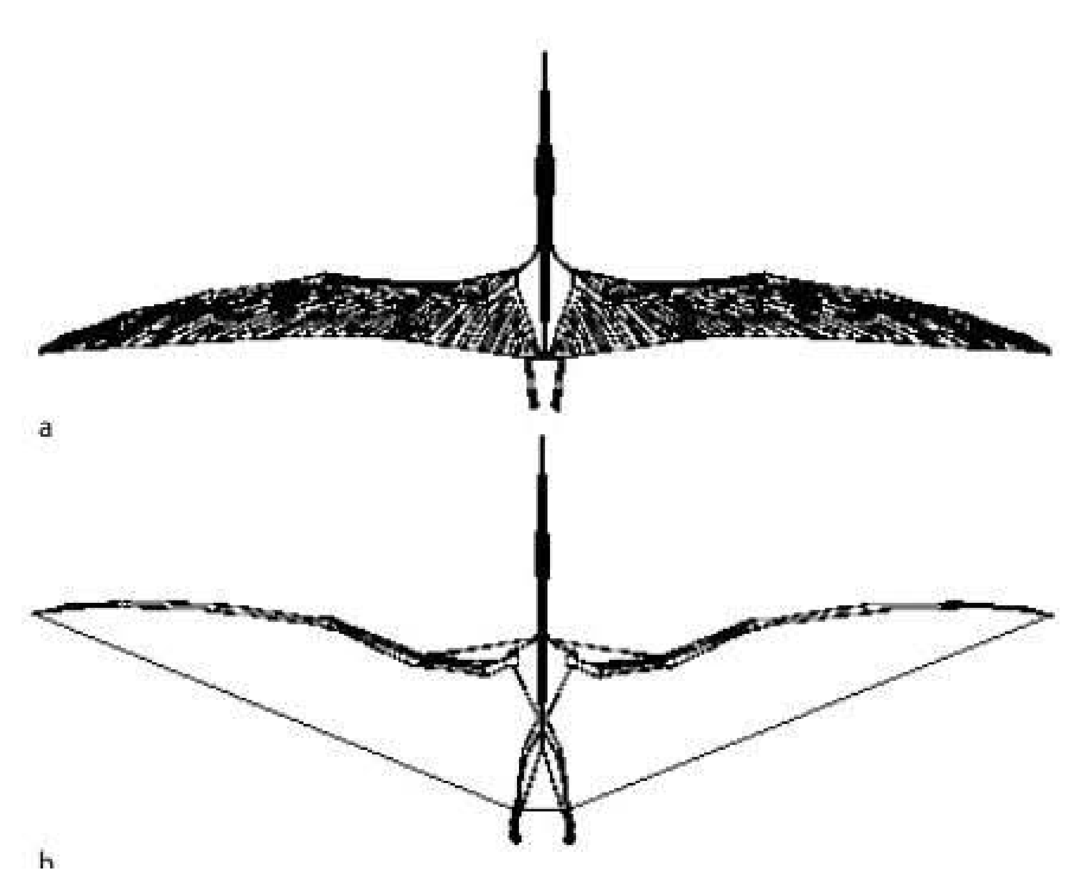
عظمة عُضد Quetzalcoatlus



شكل عظمة العضد في بعض أنواع الزواحف المجنحة الإصبع الرابع

كان جناح الزواحف المجنحة الإصبع الرابع المستطال ملتصقة [متعلقة، متصلة] بالطرف الخلفي. تباين الآراء (وربما تباينت وتنوعت الزواحف المجنحة الإصبع أنفسها) في مكان الاتصال. هل كان عند أعلى الفخذ أم عند أسفلها أم عند الركبة أم الكاحل. يستمر الخلافُ لأنَّ الجناح كثيرًا ما يكون قد حُفِظَ متموضعًا مارًّا بالهيكل العظمي ومخترقًا إياه بعد الموت، ويَصْعُبُ تقرير ما إذا كان الاتصالُ بين الجناح والرجل تشريحيًّا تركيبيًّا أم مجرد صدفويٍّ.

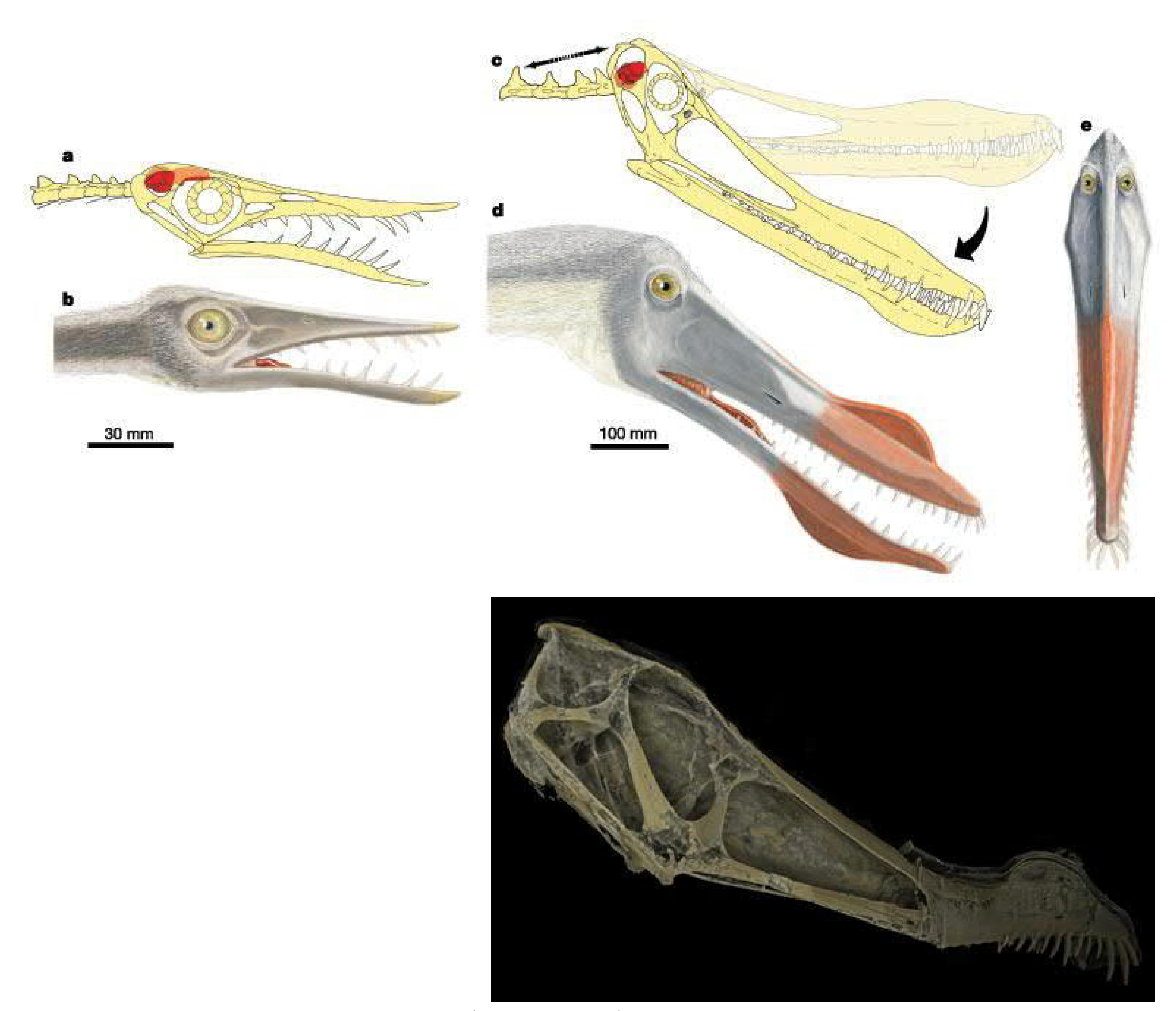
جادلَ David Unwin و Peter Wellnhofer قائلين بأن التيروسورات [الزواحف المجنحة الإصبع] كانت فريدةً، ذوات تركيبة من المكونات الجلدية التي عملت على تكوين سطح طيران انسيابي رافع مركَّب تضمن كل الأطراف الأربعة، وقاما بعمل نموذج إعادة إنشاء لجناح عريض (الصورة ١٣– ١١ أ). (انظر كمثال، Norman and Wellnhofer, 2000, and Unwin and Henderson, 2002). بينما جادل Kevin Padian قائلًا بأنه لا يوجد دليل على أن التيروسورات كان لها جناح متصل بما هو أسفل وسط الفخذ من الرِجل (انظر كمثال، Ryaner and Padian, 1993). لو كانوا محقِّين، فإن الزواحف المجنحة الإصبع [التيروسورات] كان لها أجنحة ضيّقة، أشبه بأجنحة الصقر والقطرس (الصورة ١٣– ١١ ب).



إعادتا إنشاء بديلتان لجناح الزواحف المجنحة الإصبع. (أ) النموذج الضيق الجناح، طويل وشبيه بجناح القطرس. (ب) النموذج العريض الجناح، ذو الغشاء المتصل بالأسفل بالطرف الخلفي.

لم يكن الجناح نفسه مجرد غشاء جلدي ضخم. فلو كان كذلك لكان سيكون أضعف للغاية من القدرة على الطيران القوي المرفرِف. علاوة على ذلك، لو كانت العظام والمفاصل والأربطة عند الحد الأمامي فقط من الجناح، لافتقرت الزواحف المجنحة الإصبع لطريقةٍ للتحكم في سطح الطيران الهوائي الديناميكي الخاص بالجناح. تُظْهِرُ العيناتُ المحفوظة على نحو رائع كمتحجرات أن الجناح كان له تكيفاتٌ خاصّة. فقد كان مُصَلَّبًا مقوَّىً بالكثير من الألياف الإسطوانية الشكل الصغيرة، والتي كانت على الأرجح مربوطة مع بعضها البعض بعضلات صغيرة. مكَّنَتْ توليفةُ المصلِّباتُ البُنيويّة والعضلاتُ من تحكمٍ دقيقٍ في سطح الطيران، وفي نفس الوقت جعلت الجناح قويًّا على نحوٍ معقول، لا يسهُل تعرُّضُه للتضرر أو الانعواج، ولا يُرجَّح أن يتخبط في الطيران مثل قماش أدوات رياضة الطيران الشراعي المعلَّق.

قام فريقٌ من الباحثين بقيادة Larry Witmer بعمليات مسح مقطعي كمبيوتري لجمجمتي زواحف مجنحة الإصبع pterosaurs غير متحطمة [أو غير مسحوقة] (انظر Witmer et al., 2003). كشفَتْ عمليات المسح المقطعس الكمبيوتري عن حجم وشكل أمخاخ الزواحف المجنحة الإصبع. في كلا المخين، كان لُبَّاهما مع فصيص التوازنِ النُدْفيّ [الفصيص النُدْفِيّ: فص صغير في سطح المخ التحتاني floccular lobes، وكان في التيروسورات يدمج إشارات المفاصل والعضلات والجلد وأعضاء التوازن] كبيرين جدًّا، وهذا مكَّنَ الباحثين من إعادة بناء الرأس بحيث تكون متجهةً في الوضع المعتاد أو المفضَّل الذي كان له أثناء حياته. وبينما كانت رأس الزاحف المجنح الإصبع الأولي المبكر Rhamphorhynchus [يعني اسمه ذو الخط المنقاري الشكل] من العصر الجوارسي المبكر على نحو واضحٍ معلَّقةً في وضعٍ أفقي (كالذي للطيور في وضع الطيران العادي)، فيبدو أن رأس الزاحف المجنح الإصبع اللاحق زمنيًّا والأكبر حجمًا Anhanguera [يعني اسمه الشيطان القديم] من العصر الطباشيري كانت معلَّقةً بميل إلى الأسفل، ربما في وضع صيد السمك (الصور ١٣– ٧ و١٣– ٨ و١٣– ١٢). هذا ليس غير معقول. فمثلًا تقضي طيور مالك الحزين [البلشون] ساعاتٍ في هذا النوع من الأوضاع حينما تقف مترقبةً الأسماك، رغم أنها تطير ورؤوسها في وضع أفقي. وفي طرق حياة مختلفة تمامًا، تكون رؤوس البجع والحدءات (على الأقل الحدأة البيضاء الذيل والبجعة البيضاء الكاليفورنيّة) متعلِّقة في وضع "طبيعي" أفقي أثناء طيرانها من مكان إلى آخر، لكن أفراد كلا النوعين تكون مائلة الرؤوس إلى الأسفل بدرجة كبيرة، عندما تحوم الحِدَءات حول أماكن الفرائس المحتمَلة، وعندما يذهب البجع في بحثه بالطيران البطيء النمَطِ.



الصورة ١٣– ١٢ كشف مسح مقطعي كمبيوتري لجمجمة Rhamphorhynchus أنه كان ذا اتجاه أفقي (الصورة اليسرى). بينما يقترح المسح المقطعي الكمبيوتري لجمجمة Anhanguera (الصورة اليمنى) أن رأسه كانت معلقة بميل إلى الأسفل، بدلًا من الوضع الأفقي المتوقع. ربما كان الوضع المائل هو الذي استعملته الزواحف المجنحة الإصبع المتطورة أثناء رصدها ومسحها لسطح الماء بحثًا عن الأسماك. صورة رسمها C. McQuilkin.

كان لكل الزواحف المجنحة الإصبع الأَوَلِيَّة rhamphorhynchoids والكثير من الزواحف المجنحة الإصبع اللاحقة المتطورة العديمة الذيل pterodactyloids طيرانٌ مرفرِف نشيطٌ. وبطبيعة الحال، لم تستطع الزواحف المجنحة الإصبع المتطورة الضخمة الرفرفة لزمنٍ طويل، وقد قضت معظم وقتها على الأرجح في التحليق بلا رفرفة، كما تفعل الطيور القطرس الحية المعاصرة. يبرهن التحليل الديناميكي الهوائي أن الزواحف المجنحة الإصبع pterosaurs كانت أفضل كائنات طائرة محلقة بلا رفرفة بسرعة بطيئة مما قد تطور على الإطلاق.

يتضمن ويتطلب الطيران المرفرِف نفقةَ طاقةٍ عاليةٍ عالية جدًّا. إن الطيور حارة الدماء [ذاتية تنظيم درجة حرارة الجسد]، وكذلك هي الخفافيش والكثير من الحشرات الكبيرة الأحجام عندما تكون في الطيران، مثل اليعاسيب [حشرات أبي مغزل] وفراشات الليل [العُثّ، مفردها عُثّة: حشرة تتميز عن الفراش بنشاطها الليلي وقرني الاستشعار الخفيفين وقوة أجسامها] والنحل. بالتالي يمكن أن يخمِّن المرءُ أن الزواحف المجنحة الإصبع أيضًا كانت حارة الدماء. كان للعديد من الزواحف المجنحة الإصبع فرو محفوظ على جِلدها في المتحجرات. فلو كان للزواحف المجنحة الإصبع فرو فقد كانت حارة الدماء على الأرجح. لقد تطور الطيران المرفرِف ثلاث مراتٍ فقط في الفقاريّات _في الزواحف المجنحة الإصبع والطيور والخفافيش_ وفي كل حالة كان الحيوان كما يظهر حار الدماء قبل أو في أثناء تحقيقه لتطور الطيران. كان بعظام الزواحف المجنحة الإصبع فجوات هوائية تمتد عبرها بنفس الطريقة التي لعظام الطيور الحية (تطور متشابه أو متناظر أو متلاقٍ، حيث تختلف أصول كلا المجموعتين). في الطيور، يساعد هذا النظامُ على توفير تبريدٍ هوائيٍّ، وإنه لمعقولٌ تفسير بُنْية عظام الزواحف المجنحة الإصبع بنفس الطريقة.

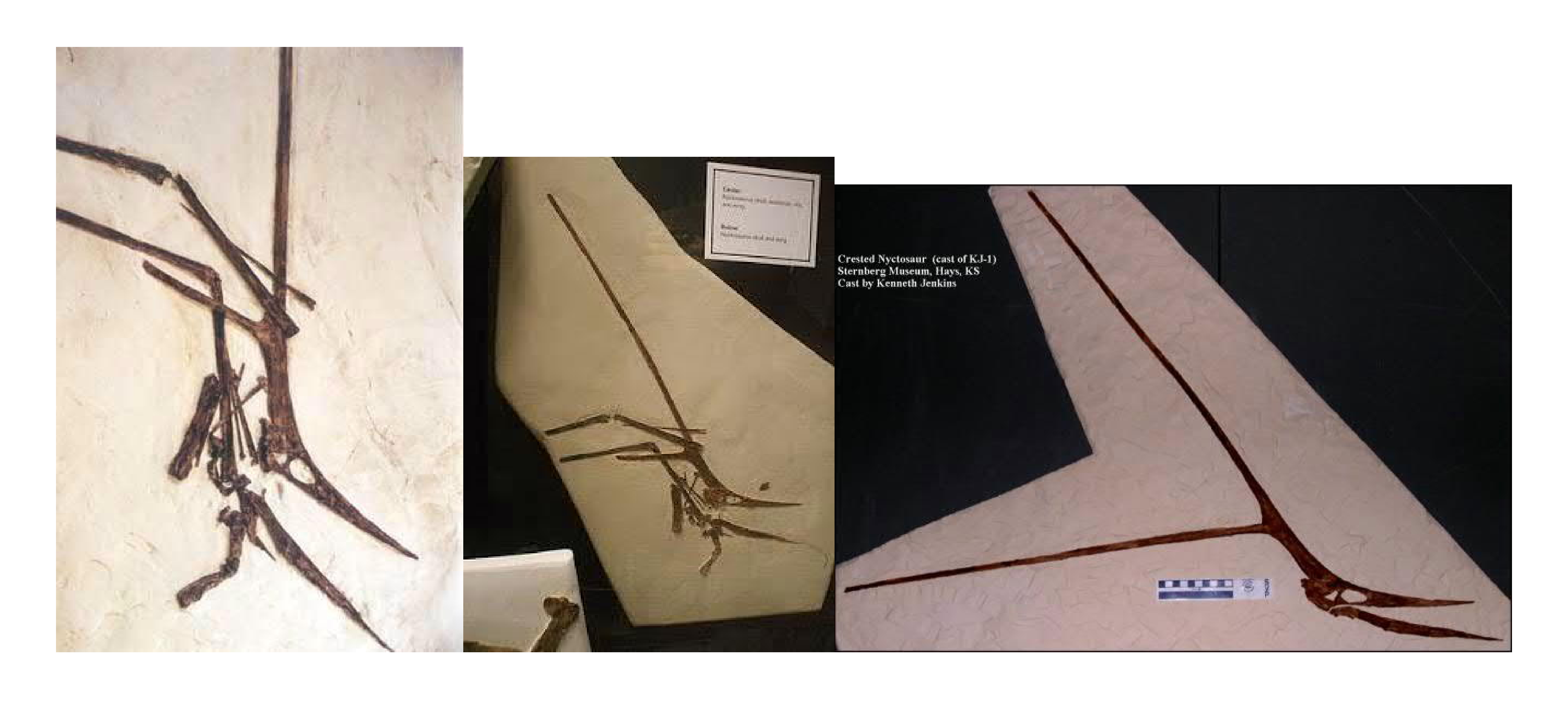
المسألة الثانية الغير محسومة هي خصوص بُنية رجل الزواحف المجنحة الإصبع وقدرتها على المشي. يعتقد Kevin Padian أن الزواحف المجنحة الإصبع الصغيرة الأحجام استطاعت التحرك على الأرض على نحو جيد. لو كان للزواحف المجنحة الإصبع جناحان عريضان، فإنها كانت ستكون ثقيلة

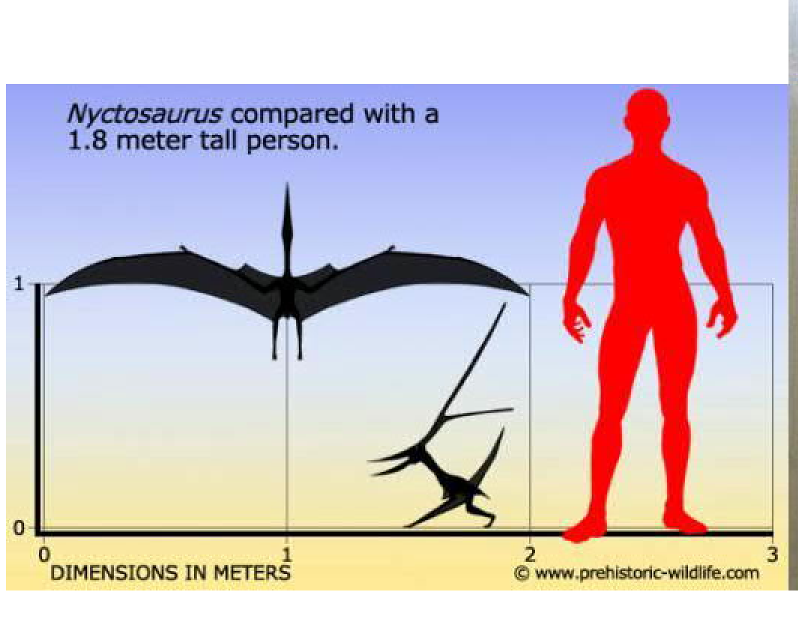
الحركة جدًّا على الأرض [في المشي]، مثل الخفافيش الحية. لا تزال هذه المسألة تخضع للجدال، للتعبير عن الأمر بصيغة ملطّفة، لكنها ينبغي أن تُحْسَم قريبًا.

لو كانت معظم الزواحف المجنحة الإصبع تجولت على نحو واسع فوق المحيط باحثةً عن الأسماك، لكان سيكون مستحيلًا على أفراخ الزواحف المجنحة الإصبع أن تُطْعِمَ أنفسَها حتى تصل إلى مرحلة متقدمة على نحو جيد من النمو والقدرة على الطيران. بالتالي كان سلوك بناء الأعشاش والعناية بالصغار كان سيكون إلزاميًّا. لقد وصف Kevin Padian "دار حضانة زواحف مجنحة الإصبع صغار" محفوظة كمتحجرة في صخور العصر الطباشيري في دولة تشيلي.

ربما كان السلوك الاجتماعي للزواحف المجنحة الإصبع [pterosaurs التيروسورات] معقَّدًا. كانت الكثير منها ذوات ثنائية شكلٍ جنسي [يختلف شكلا الجنسين]. كانت الذكور أكبر حجمًا، ولها عرف كبير فوق مؤخر الرأس ولها فتحات حوضية ضيقة نسبيًّا. أما الإناث فكانت أصغر حجمًا، ولها أعرافٌ أصغر حجمًا لكنَّ لها فتحاتٍ حوضيةُ أكبر أوسع. أظهرتْ اكتشافاتٌ جديدةٌ أن الأنسجة الطرية المترافقة مع بعض الأعراف [في بعض الأنواع] كانت كبيرةً بإسرافٍ وعلى نحو، ويُحْتمَل أنها كانت تراكيب للاستعراض (الانتخاب الجنسي) أكثر بكثير من احتمالية أنها ساعدت في الطيران (الصورة ١٣-١٣).

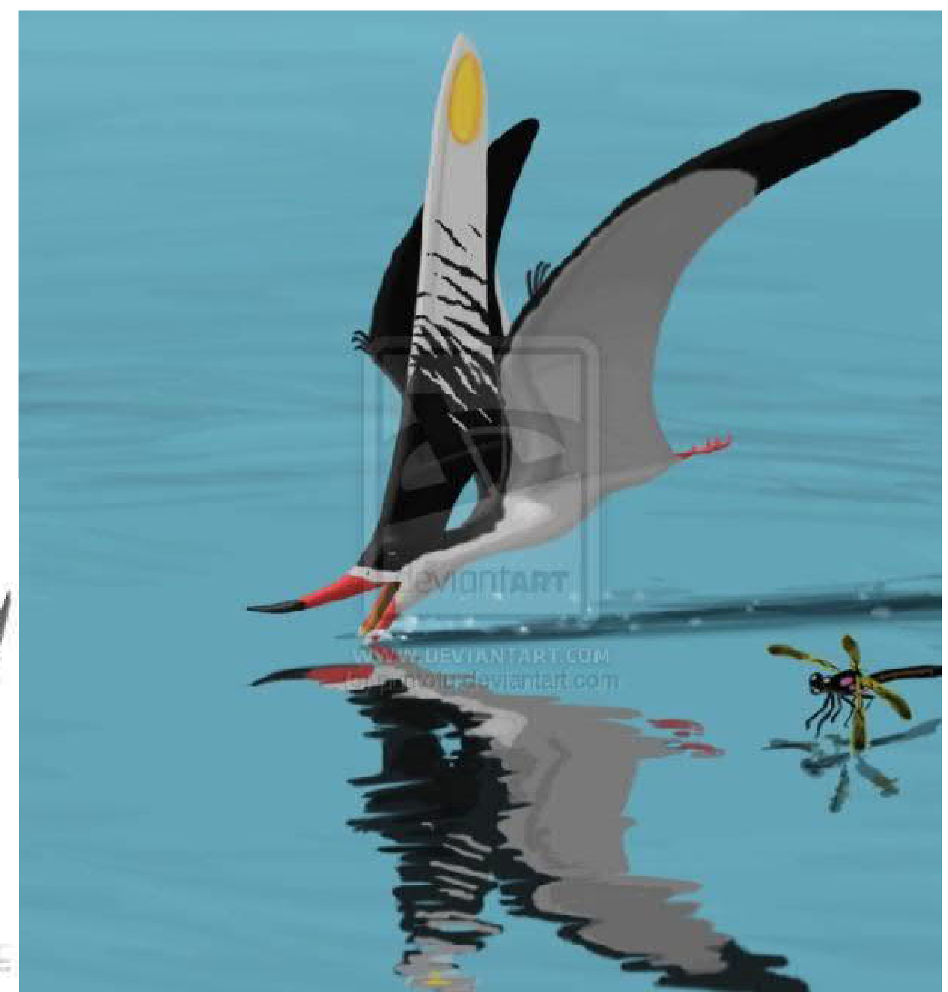
كانت التيروسورات [الزواحف المجنحة الإصبع الرابع المستطال] أول فقاريّات يتحقق فيها تطور الطيران المرفرِف. جادل Kevin Padian لصالح أنها كانت سائرة على قدمين على البر بالإضافة لكونها كانت طائرةً جيدة. لو كان الأمر كذلك، يكون طيران الزواحف المجنحة الإصبع قد تطور بين حيوانات راكضة على الأرض، وليس ساكنة للأشجار.




Nyctosaurus compared with a 1.8 meter tall person.
1
0
0
1
2
3
DIMENSIONS IN METERS
© www.prehistoric-wildlife.com





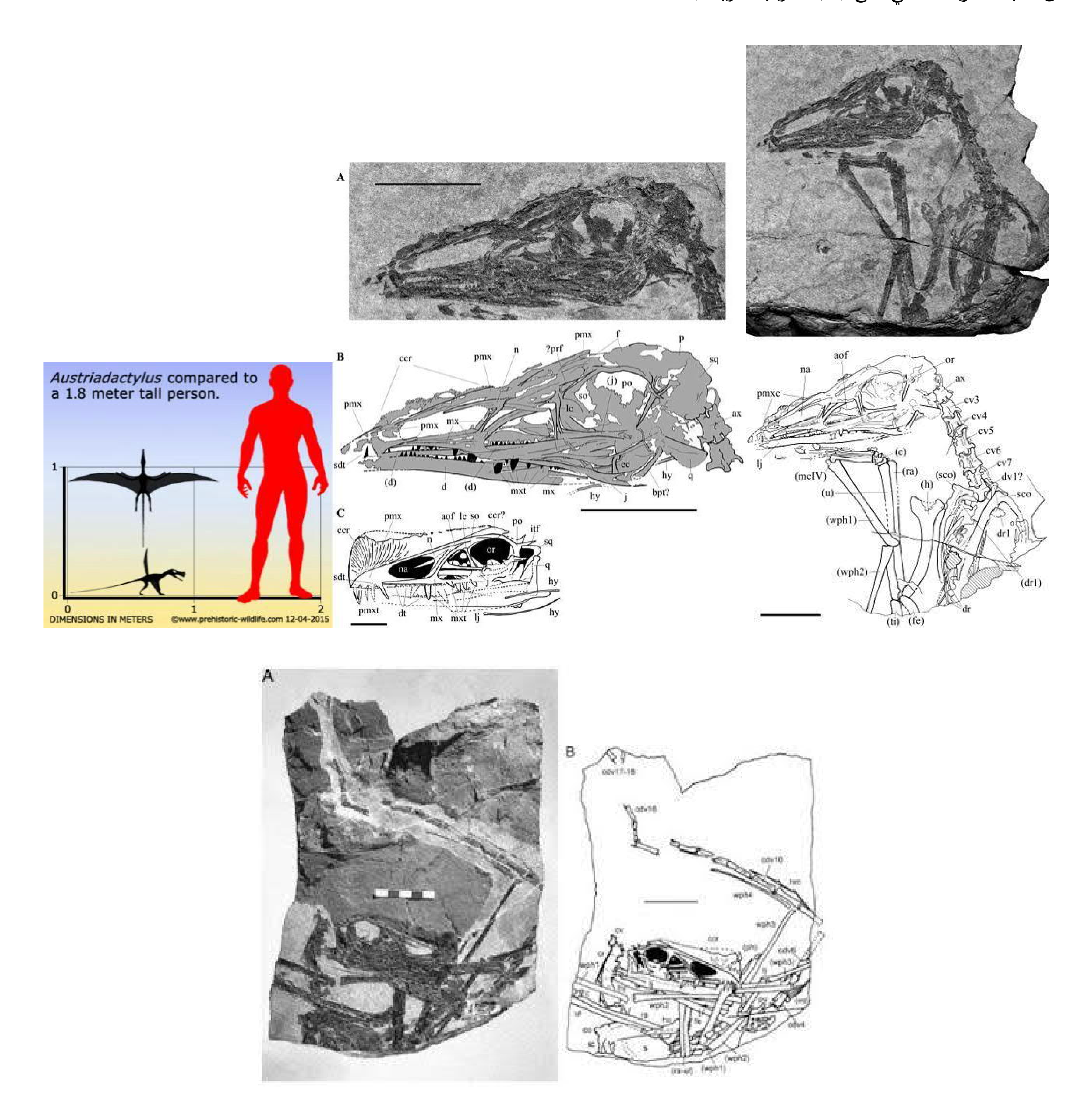

WWW.DEVIANTART.COM

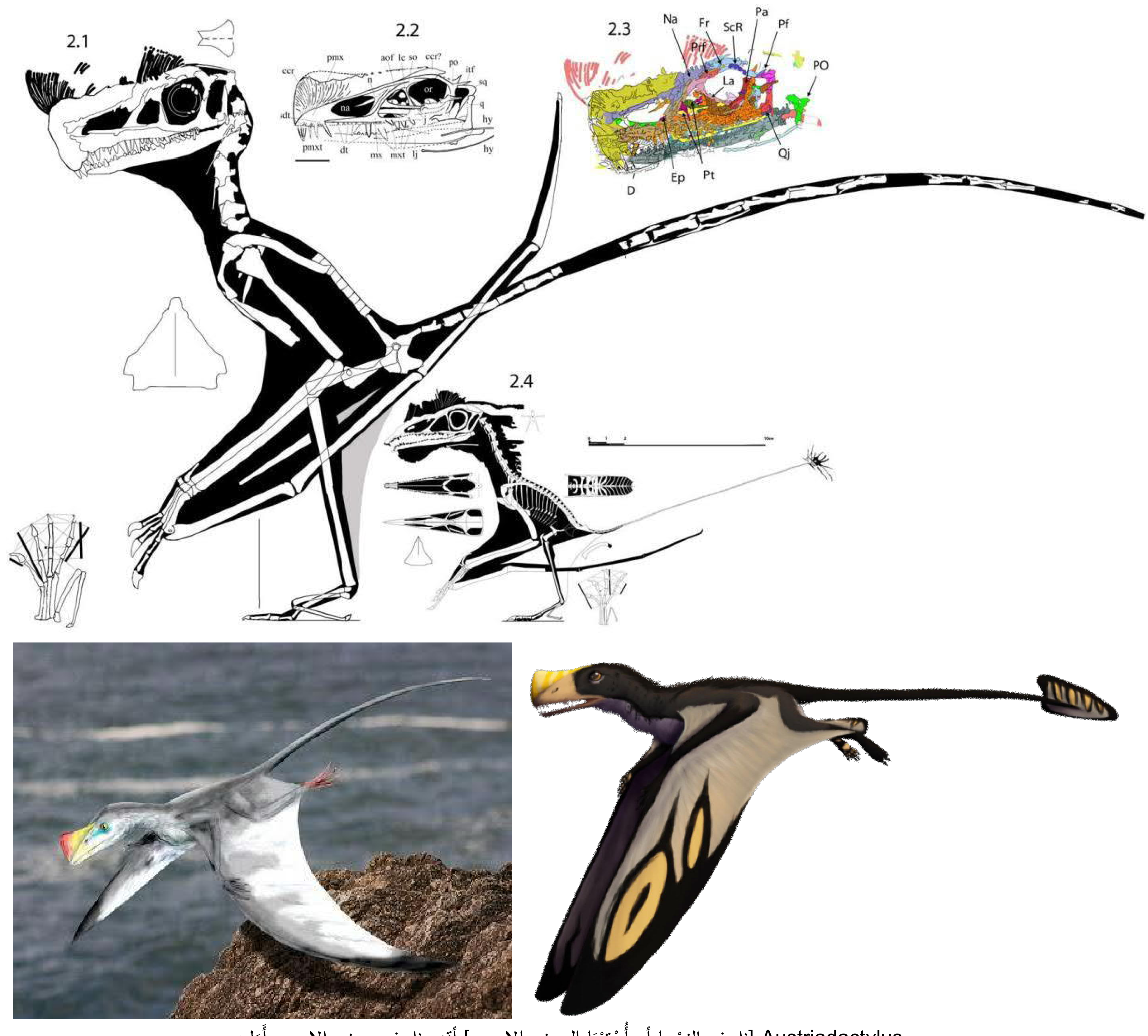



VCREATURES.TUMBLR.COM
© El PaleoFreak

الصورة ١٣- ١٣ العرف الطري النسيج المدهِش المُكْتشَف في الزاحف الطائر المجنح Nyctosaurus [يعني اسمه الشبيه بالخفاش، وهو اسم بلا دلالة تقريبًا لعموم الصفة على كل التيروسورات] من العصر الطباشيري.

إن أقدم الزواحف المجنحة الإصبع المعروفة حتى الآن هي من العصر الترياسي المتأخر. لقد كانت كائنات طائرة متطورة على نحو جيد، ولم نجد بعدُ أسلافًا محتمَلة معقولة لها. إن أقدم زاحف مجنح الإصبع محفوظ على نحوٍ جيد هو Austriadactylus [زاحف النِمْسا أو أُسْتِرْيَا المجنح الإصبع]، وقد كان فعليًّا له عرفٌ عظميٌّ على جمجمته وذيلٌ طويلٌ جدًّا.

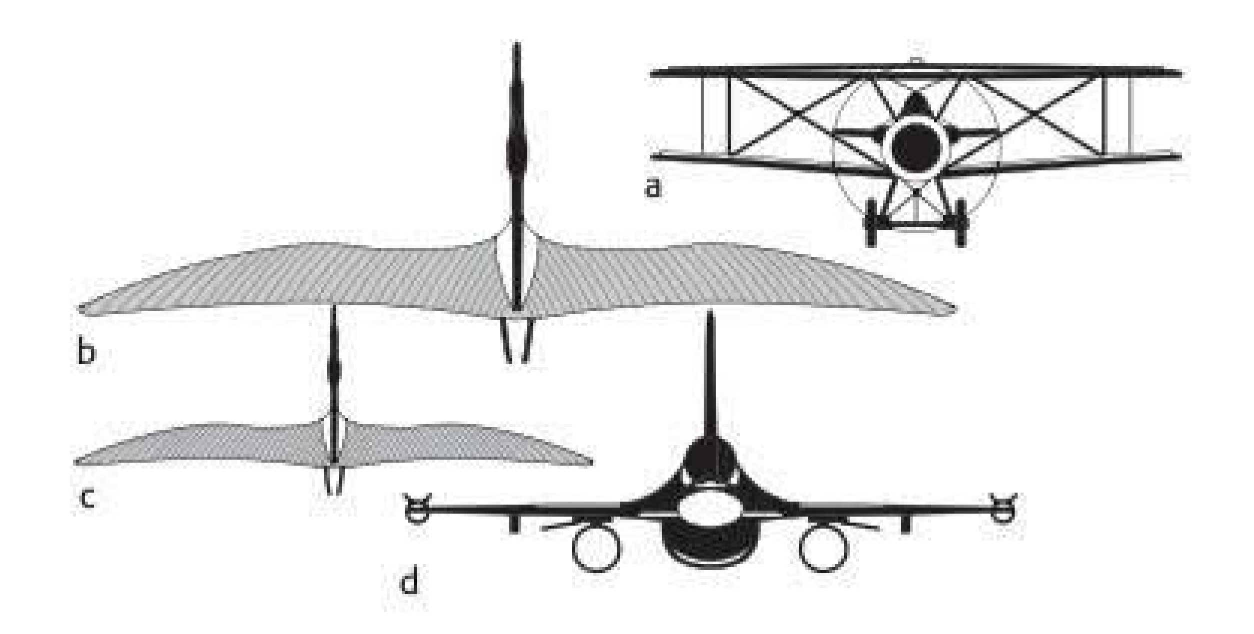




Austriadactylus [زاحف النِمْسا أو أُسْتِرْيَا المجنح الإصبع] أقدم زاحف مجنح الإصبع أَوَلِيّ

كان أكبر الزواحف المجنحة الإصبع الرابع حجمًا _وهو Quetzalcoatlus [اسمه على اسم إلهٍ أَزْتِكِيّ]_ آخرها بقاءً على قيد الحياة. لقد عاش هو وأنواع ذات قرابة تطورية له حتى نهاية العصر الطباشيري تمامًا. يُعثَر على متحجرات عظامه في طبيقات غير بحرية، مترسبةً ربما على بعد ٤٠٠ كم (٢٥٠ ميلًا) في الجزء الداخلي من البرِّ بعيدًا عن البحر. ربما كان مكافئًا ونظيرًا إيكولُجيًّا للنِسر، فكان يحلق فوق سهول العصر الطباشيري ويتقمَّم على جثث الديناصورات. لقد امتلك Quetzalcoatlus رقبة قوية طويلة على نحو عجيب، لكن منقاره كان خفيف البُنية للغاية بالنسبة لهذه الطريقة في التغذِّي. فربما كان أشبه ببلشون أو مالك الحزين عملاق، فكان يقف ويصطاد الأسماكَ في الجداول والبرك التي في الجزء الداخلي من البر، أو يلتقط الضفادع والسلاحف أو المفصليات مثل جراد البحر (إستاكوزا المياه العذبة، الروبيان) من المياه الضحلة.

إننا لا نعلم سببَ انقراض الزواحف المجنحة الإصبع [التيروسورات pterosaurs] بعدُ. فكما قد رأينا، فقد كانت على الأغلب حيواناتٍ نشيطةً حارة الدماء، لها طيران مرفرِف أشبه بالخاص بالطيور. إلا أن الزواحف المجنحة الإصبع انقرضت عند نهاية العصر الطباشيري، في نفس وقت اندثار الديناصورات، بينما لم تنقرض الطيور. سوف نعود إلى هذا السؤال في الفصل ١٨.



الصورة ١٣– ١٤ عرض الجناحين لنوعين من التيروسوات العملاقة مع مقارنة بأنواع طائرات مما نصنع: (أ) طائرة من نوع Sopwith Camel F1 ذات عرض جناحين 8, 5 متر. (ب) التيروسور أي الزاحف المجنح الإصبع Quetzalcoatlus وهو أكبر حيوان طائر معروف مما تطور على مر كل الزمن، ويقدَّر عرض جناحيه وفق أكثر التقديرات حذرًا وتحفظًا بعشرة أمتار.
و (d) طائرة مقاتلة من نوع فالكُن [صقر الباز] General Dynamics F16A ذات عرض جناحين عشرة أمتار. و(c) Pteranodon [الزاحف المجنح الإصبع العديم الأسنان]، يقدر عرض جناحيه المنبسطين وفق أكثر التقديرات تحفظًا بـ 5 ,7 متر. وتقدير حجم الطيارين السائقين لهاتين الطائرتين سيفيد كتذكير إضافي بحجم الزواحف المجنحة الإصبع [التيروسورات] العملاقة.

الطيور

الطيور الحيّة المعاصرة حارة الدماء [ذاتية تنظيم درجة حرارة أجسادها]، ذوات تنظيم لدرجة حرارة أجسادها يُبقِي درجات الحرارة الجسدية أعلى من درجات حرارتنا. تتنفس الطيور على نحوٍ أكثر كفاءةً وفاعلية من الثدييات، فتضخ الهواء من خلال رئتيها بدلًا من إلى رئتيها ثم إلى خارجهما. إن لها بصرًا أفضل من أي حيوانات أخرى. تبني الطيور أعشاشًا معقدة متطورة؛ فالطيور البانية الأكواخ الأسترالية تلي الإنسان في القدرة على صنع الأشياء الفنية. تتعلم غربان نيو كاليدونيا [أو كاليدونيا الجديدة، تجمع خاص تابع لفرنسا يقع في أوقيانوسيا أيْ ضمن جزر المحيط الهادئ الاستوائية في جنوب غرب المحيط الهادئ على بُعد ١٢١٠ كم (٧٥٠ ميلًا) إلى الشرق من أستراليا] صنعَ الأدواتِ أسرعَ مما يتعلم الشيمبانزيات. وفوق كل ذلك وأهم منه، تستطيع الطيور الطيران أفضل وأبعد وأسرع من أي حيواناتٍ أخرى، وهي قدرة تتطلب أنظمة معقدة للإمداد بالطاقة، وأدوات استشعارية، وأنظمة تحكم.

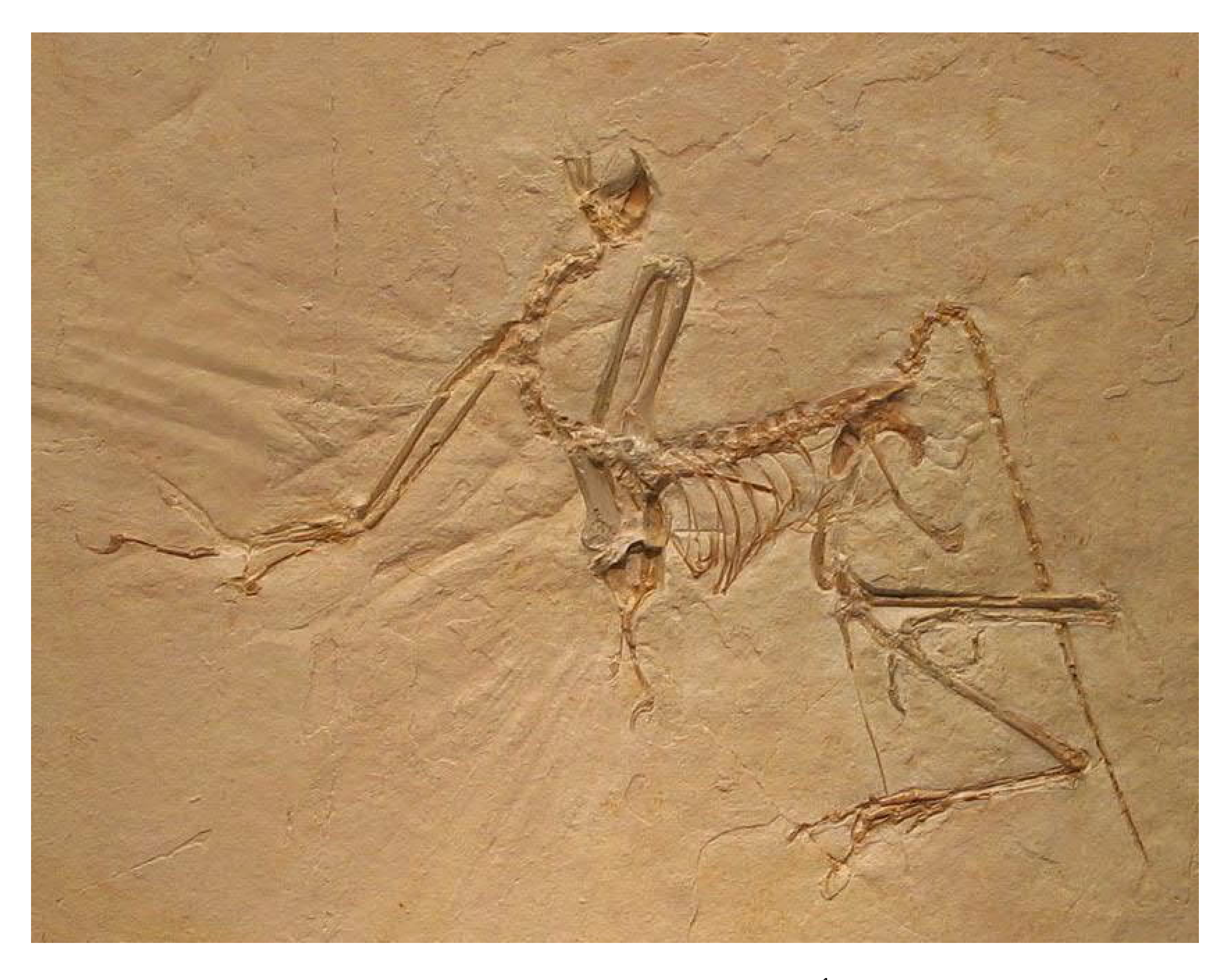
تتضمن الطيور النعام والإيمو والبطاريق التي لا تستطيع الطيران، والطيور الطنَّانة التي لا تستطيع السير البتةَ. لكن الطيور تتشارك سماتٍ تكفينا لأن نكون متأكدين أنها من فرع تطوري واحد، تحدرت من (أيْ أنها جزء من) الزواحف الحاكمة. إن جماجم وعظام حوض وأقدام وبيض الطيور والزواحف ذوات صفات خاصة بالزواحف الحاكمة بوضوح لدرجة أن T. H. Huxley تُمِسْ هَكْسِلي صديق تشارلز داروِن دعاها بـ"الزواحف المبجَّلة" أو الممجَّدة.

إن أقدم طير معروف هو الأركيوبترس Archaeopteryx [يعني اسمه الجناح العتيق، ونترجمه إلى الطير العتيق] من صخور العصر الجوارسي الأعلى [المتأخر] في جرمانيا، ولعله أشهر نوع متحجرات في العالم (في الصورة ١٣– ١٥ إحدى متحجراته). لقد عُثِر على سبع عينات فقط منه، بالإضافة إلى ريش مفرد، وإحدى تلك العينات مفقودة حاليًا، وعلى الأرجح سُرِقَتْ. لقد تُعُرِّف على أول متحجرة كاملة للطير العتيق Archaeopteryx فورًا على أنها لطير متحجر، لأنها كان لديها ريش على جناحيها وذيلها. لكن بدون ريش، فهي تبدو شبيهة جدًا بديناصور لاحم سائر على قدمين theropod صغير الحجم. لقد قبعت عينتان من السبعة المعروفة غير متعرَّفٍ عليها لزمن طويل، مصنَّفةً على أنها ديناصورات لاحمة سائرة على قدمين theropods.

لقد كان للطير العتيق Archaeopteryx عظام حوض خاص بديناصور لاحم سائر على قدمين theropod، وليس بنية الحوض الضيق الشبيه بالصندوق الخاصة بالطيور الحية المعاصرة. وكان له ذيل عظمي طويل، وأصابع ذوات مخالب، وفك مليء بالأسنان الصغيرة الضارية. وتلك كلها صفات خاصة بالديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين. وافتقد الطير العتيق الكثيرَ من الصفات الخاصة بالطيور الحية، في الحقيقة كانت الصفات الشبه طيرية في كامل الهيكل العظمي للطير العتيق هي فقط خصائص قلائل خاصة بالجمجمة. وحتى عظمة الترقوة wishbone أو الشويكة أو الفريقة الصدرية furcula توجد أيضًا في متحجرات هياكل ديناصورات لاحمة سائرة على قدمين (وربما فيها كلها!).



الصورة ١٣- ١٥ هناك عينات متحجرات هياكل عظمية قليلة للطير العتيق Archaeopteryx، أقدم طيرٍ أَوَلِيّ معروف. هذه عينة برلين، من متحف Humboldt Museum في برلين.



عينة أخرى شهيرة للطير العتيق Archaeopteryx

كان Compsognathus [يعني اسمه ذو الفك الرائع!] ديناصورًا لاحمًا سائرًا على قدمين theropod صغير الحجم حُفِظَت له عينات أيضًا في الحجر الجيري لمنطقة Solnhofen في جِرمانيا (الصورة ١٢– ٦). لقد كان مفترِسًا سريع الركض أكبر حجمًا بقليل من الطير العتيق Archaeopteryx. كانت إحدى عيناته تحتوي بداخلها على متحجرة هيكل عظمي لسحلية طويلة نحيلة سريعة الركض (الصورة ١٣– ١٦). كلٌّ من Compsognathus والطير العتيق Archaeopteryx حُفِظَتْ عيناتهما في العادة في وضع جسدي غير معتاد، حيث تكون الرقبة ملويّة بشدة فوق الجسد. إننا نعلم سبب حدوث هذا. فلو مات حيوانٌ اليومَ على أو قرب شاطئ أو على حوض ملحي صحرواي [حوض بحيري ضحل متاخم للبحر ومليء بمياهه فإذا تبخرت أصبح مليئًا بطبقات الملح]، فقد يتحنط بفعل الرياح ورذاذ الملح قبل أن يتعفن أو تأكله المفترِساتُ. ترتخي العضلات وتجف الأوتار. تنكمش الأوتار الطويلة التي تدعم الرأسَ بشدةٍ، ساحبةً الجمجمةَ باتجاه الخلف فوق العمود الفقري. في نفس الوقت، يسقط في العادة أي ريش مغطٍّ للجسد، لكن يظل الريش الأقوى الخاص بالجناحين والذيل ثابتًا في مواضعِه.

من آنٍ إلى آخر، قد تُجرَف جثث الطيور المحنَّطة إلى البحر بفعل مدٍّ عالٍ، أو تدفعها الرياح إلى الماء. ربما تطفو لعدة أسابيع قبل أن تصير مشبَعة بالماء، وحتى عندما تغرق في النهاية، فإنها تحتفظ بوضعها الجسدي الخصوصي. لم يكن لـ Compsognathus ريشٌ، وقد كان بلا شكٍّ سائرًا على قدمين أرضيًّا. لقد تحجر الطير العتيق Archaeopteryx و Compsognathus بنفس الطريقة، كالطيور المحنَّطة التي تطفو من عند السواحل إلى مسافات بعيدة. لا حاجة بنا للاقتراح [أيْ: لا يصح] أن الطير العتيق استطاع الطيران لأنه غرق ودُفِنَ في البحر.

أصل ونشأة الريش

كل علماء المتحجرات والأحياء القديمة palaeontologists مقتنعون في العصر الحالي أن الطيور تطورت من ديناصورات لاحمة [مفترِسة] سائرة على قدمين theropods. توجد في عصرنا الكثير من "المتحجرات الانتقالية" بين الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين وأقدم الطيور. وعلى وجه الخصوص، فقد عُثِر على ريشٍ على العديد من الأجساد المتحجرة للديناصورات اللاحمة السائرة عل قدمين والتي كانت يقينيًّا حيوانات راكضة على الأرض (الفصل ١٢).

بما أن الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods الأرضية كان لها ريشٌ، فإن أصل الطيران في الطيور ليس له علاقة بظهور الريش. لقد جادلتُ في الفصل ١٢ أن الأستعراض وتنظيم درجة حرارة الجسد ربما تُضُمِّنَتْ في نشأة الريش، لكن ليس في الطيران. (فقد تطور الطيران في الزواحف المجنحة الإصبع [التيروسورات pterosaurs] وفي الخفافيش بدون ريش). توجد ثلاث فرضيّات هامة بخصوص نشأة طيران الطيور، وسأضيف فرضية رابعة.

الفرضية الشجرية (نموذج السكنى في الأشجار)

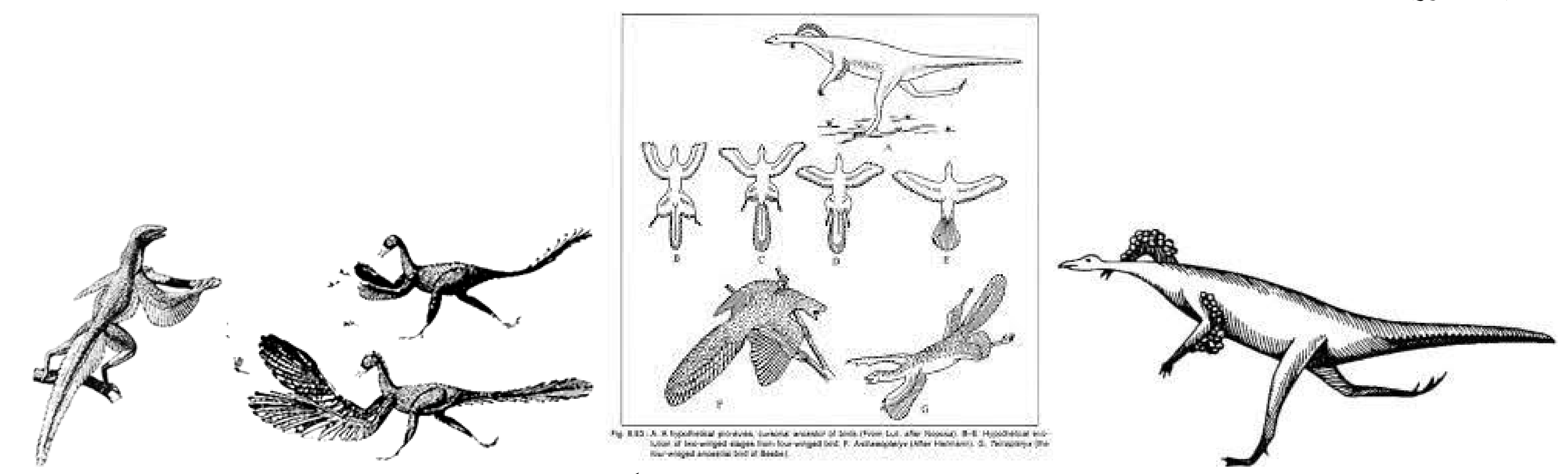
تقترح الفرضية الشجرية أن أسلاف الطيور طورت الطيران بالقفز من الأشجار. كانت الفرضية الشجرية الأكثرَ تفضيلًا حتى وقتٍ قريب، ولا يزال لها مؤيِّدون. لكنها لا بد أن تُهجَرَ في مواجهة وفي ضوء الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods المكتَشَفة حديثًا من الصين. إن الطير العتيق Archaeopteryx والديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين المُرَيَّشة بأطرافها الطويلة المنتصبة، وجذعها القصير نسبيًّا ومشيتها على قدمين اثنتين هي بالضبط نقيض وعكس تخطيط الجسد الخاص بكل الثدييات والزواحف الحية القافزة والمتزلقة من شجرة إلى أخرى. لا يوجد أي شيء في سلالة الأسلاف التطورية للطيور كما نعرفه في العصر الحالي يقترح أي تكيفاتٍ شجرية على الإطلاق.

يُزِيد الذراعان المرفرَفان أو الجناحان البدائيّان (في الحقيقة، أي ريش على الجناحين أو الذيل على الإطلاق) من الجذب. ومن ناحية الديناميكية الهوائية، فإن الانتقالة من التزلق إلى الرفرفة صعبةٌ؛ وهناك فرصة محدودة نظرية يمكن عمل هذه الانتقالة من خلالها. كانت تلك الانتقالة ستكون صعبة على وجه الخصوص بالنسبة للطائر العتيق Archaeopteryx وأي مرشح آخر من الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropod كسلفٍ للطيور، لأنها كان لها ذيلٌ طويلٌ عظميٌّ ذو ريشٍ طويل فوقه. يُزيد هذا النوع من الذيول جذبًا أكثر بكثير [إلى الأسفل] مما يُزيد رفعًا.

فرضية الركض

ربما أمكن لبعض التكيفات في ديناصور لاحم سائر على قدمين theropod ساكن للأرض أن تقدم بعض الضروريات التشريحية أو التركيبية البنيوية والسلوكيات للطيران، كاستطالة الطرفين الأماميين وخاصةً اليدين، وإنبات ريش طويل قوي على هذه المناطق، وتطوير حركات ذراعين قوية. مبكرًا في أوائل القرن العشرين، اقترح البارون Baron Nopsca _ربما متأثرًا ومُعْجَبًا بالسرعة والقدرة الواضحة لـ Compsognathus [من واقع المتحجرات]_ أنه ربما قد طور زاحفٌ سريع الجري حراشف طويلة على ذراعيه. وفق هذه النظرية، ولَّدَتْ الحراشفُ طاقةَ رفعٍ عندما رُفْرِفَ بالذراعين بنشاطٍ أثناء الركض (الرسم ١٣– ١٧). عندئذٍ استطاع الحيوانُ القيام بقفزات أطول، مما ربما شجَّع على تطور الحراشف إلى ريش وتطور القفزات إلى طيران مرفرِف قوي.

لم يتطور الريش من الحراشف (كما سبق وشرحتُ في الفصل ١٢/ موضوع أصل ونشأة الريش)، ولكنْ على كل حالٍ فإن هذه النسخة الأولى الأصلية من فرضية الركض لا تصلُح. فإن أي طاقة رفع يولِّدها ذراعان مرفرِفان تُزيد من الجذب الأرضي (قوة الاحتكاك الالتصاقي) الذي تعطيه القدمان، فيُفقَد التسارُعُ [التعجيل، زيادة السرعة]. فسيارة السباق تظل ثابتة على الأرض على المسار [مَجاز السباق] بفعل توليد أسطح احتكاكها الانسيابية بالهواء لطاقة جذب أرضي قوية، ولا يمكن قيادة طائرة من خلال مقاود توجيهها أثناء جريها للإقلاع. كان الديناصور اللاحم السائر على قدمين الجاري المرفرِف بذراعيه سيُزيد من الجذب الأرضي. فكلما جرى أسرعَ، زاد الجذبُ الأرضيُّ. لم يكن الذراعان سيولِّدانِ سوى كم اندفاعات ضئيلة جدًّا في المراحل المبكرة من العملية التطورية.



الشكل ١٣– ٧ تقترح نظرية الركض الأصلية القديمة أن حراشف طويلة على الطرفين الأماميين لطائر أَوَلِي أمكنها أن تعطي طاقة رفعٍ كافية للإقلاع لو رفرف الذراعان بنشاط أثناء الركض (الرسمان على اليمين للبارون Nopsca)

فرضية المفترِس الراكض

النسخ الأحدث لفرضية الركض أفضل بكثير. فهي أكثر معقولية من الناحية الميكانيكية وتتضمن سلوكيات تشمَل ضرباتِ ذراعين قوية متزامنة متسقة وتطور عضلات صدريّة قوية.

أكثر النسخ الحديثة معقوليةً ظاهريةً هي الخاصة بـ Phillip Burgers و Kevin Padian في ٢٠٠١م. لقد تصوروا أن الطيران تطور من الجري، حيث كانت الأفضلية المبكرة للطيران كونه أعلى سرعةً على الأرض. أدى تحقيق الطيران إلى استبدال الاندفاعات على الأرض الحادثة بفعل قوة جذب القدمين باندفاعات هوائية ديناميكية إلى الأمام بفعل الجناح. في أثناء الجري للإقلاع، حلت الطاقةُ التي ينفقها الطرفان الأماميان محلَّ الطاقةِ التي ينفقها الطرفان الخلفيان، بعد فترة انتقالية ساهمت فيها كل الأطراف الأربعة في الاندفاع إلى الأمام.

وبخلاف النسخ المبكرةِ من الفرضية، فإن الرفع لم يكن مهمًّا في البدء [وفق هذه النسخة الحديثة]. فساعدَتْ المراحلَ الأولى من هذا الطيران الأرضي المنخفض المستوى ظاهرةُ تأثيرِ الأرض [في الطائرة الثابتة الجناح، فإن تأثير الأرض Ground effect هو طاقة الرفع المُزادة والجذب الهوائي الديناميكي المنقوص اللذين يولِّدهما جناحا الطائرة عندما يكونان قريبين من سطح ثابت. وعند هبوطها، يمكن أن يعطي تأثير الأرض الطيارَ شعورًا بأن الطائرة "تطفو". يقلل تأثير الأرض من سرعة الانهيار، فتستطيع الطائرة الطيران فوق مدرج هبوط الطائرات بينما تتسارع سرعة الطائرة بتأثير الأرض حتى

تصل إلى سرعة رفع أو إقلاع آمنة]. على نحو أساسي، فإن دوامات الهواء التي يولّدها الجناحان تتفاعل [تتداخل مع] تأثير الأرض تحت الجناحين مباشرةً، موفِّرةً رفعًا كافيًا بارتفاع منخفض جدًّا لتحقيق الإقلاع. بالتالي لم تحتَج ضربات الجناحين التسببَ في رفعٍ عالٍ طالما ليس هناك أفضلية في اكتساب الارتفاع.

في هذا السيناريو، صارت الطيور قادرة عندئذٍ على الطيران السريع الرفرفة المنخفض المستوى، لكن أفضليته تنتهي لو ارتفع عن النطاق السطحي ذي التأثير الأرضي. إن كل حركة الجناح مكلفة في الطاقة، وخاصةً في المراحل المبكرة من الإقلاع [الارتفاع عن الأرض]. الرفرفة السريعة أساسية في كل هذا السيناريو. وختامًا، لا يعمل شيء من هذا السيناريو، حتى وما لم تصر دفعات الجناح قوية على نحو كافٍ لتحل محل دفعات الرجل القوية الخاصة بالديناصور اللاحم السائر على قدمين theropod الراكض. لم تكن الأجنحة المُريَّشة المبكرة فعّالة جدًّا كأدوات للدفع.



فرضية الاستعراض والقتال

اقترحتُ أنا وJere Lipps أن الاستعراض كان متضمَّنًا في تطور الريش وكذلك الطيران. كان للديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين Theropods ريشُ استعراضٍ قويٌّ طويل على الذراعين والذيل (راجع الفصل ١٢). زاد من نجاح الاستعراض إطالة الذراعين، وخاصة اليدين، وبالتلويح بهما بنشاط، وربما بالرفرفة بهما بسرعة وقوة. شجَّعَ الاستعراضُ على تطور عضلات صدرية قوية والجهاز فوق الناتئ الغرابي الكتفي القوي supracoracoideus (زوج من العضلات ترفع أجنحة الطيور في الطيران، وفي الزواحف هي عضلة مهمة لدعم الجسد تشكل أساسًا وسندًا للجزء الأمامي من العضلات الصدرية، تنشأ من عند الناتئ الغرابي الكتفي وتمر عبر الجزء السفلي من العضد).

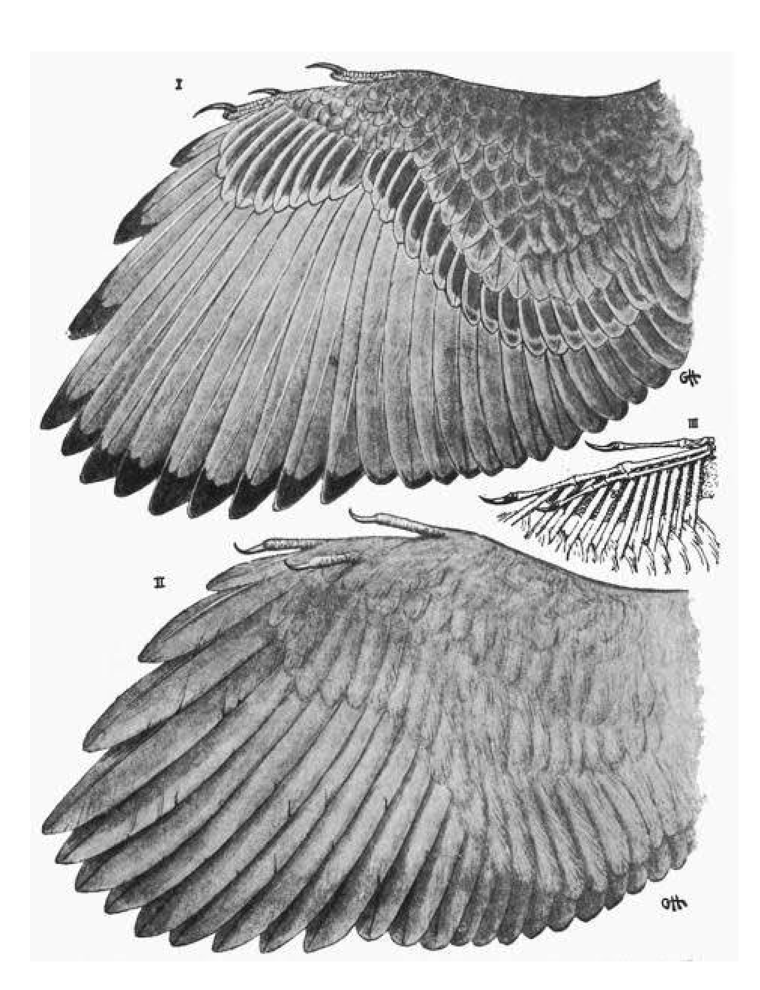
يمكن أن يكون الاستعراض فعالًا جدًّا، وليس فقط للغايات الجنسية. كثيرًا ما تحاول طيور الفرقاط والنسور الصلعاء السطوَ على طعام الطيور الأخرى بدلًا من اصطياد فريسة بأنفسهم. وبسبب الخشية من العاقبة المكلفة لجرح الجناح، يمكن أن تُكرَه كثيرٌ من الطيور بالتهديد بالتخلي عن صيدها بدلًا من القتال دفاعًا عنه.

لكن الاستعراض التهديدي لا يمكن أن يكون وعيدًا أجوف دائمًا. فالقتال سيكون آخر حل. كثيرًا ما تتقاتل الطيور الحية على الأرض، حتى التي تطير على نحو جيد. لم يعد للأجنحة مخالب لكنها لا تزال تستعملها كأسلحة في ضرباتٍ باتجاه الأمام والأسفل (البط الغير طائر ذو القدمين المجدافيتين الجنوبي أمِركي steamer ducks على وجه الخصوص ذوو ضربات شديدة يدافع بها ضد المفترِسين). يمكن استعمال المنقار والقدمين كأسلحةٍ أيضًا، وهي أكثر فاعلية عند استعمالها في ضربات إلى الأسفل والأمام.

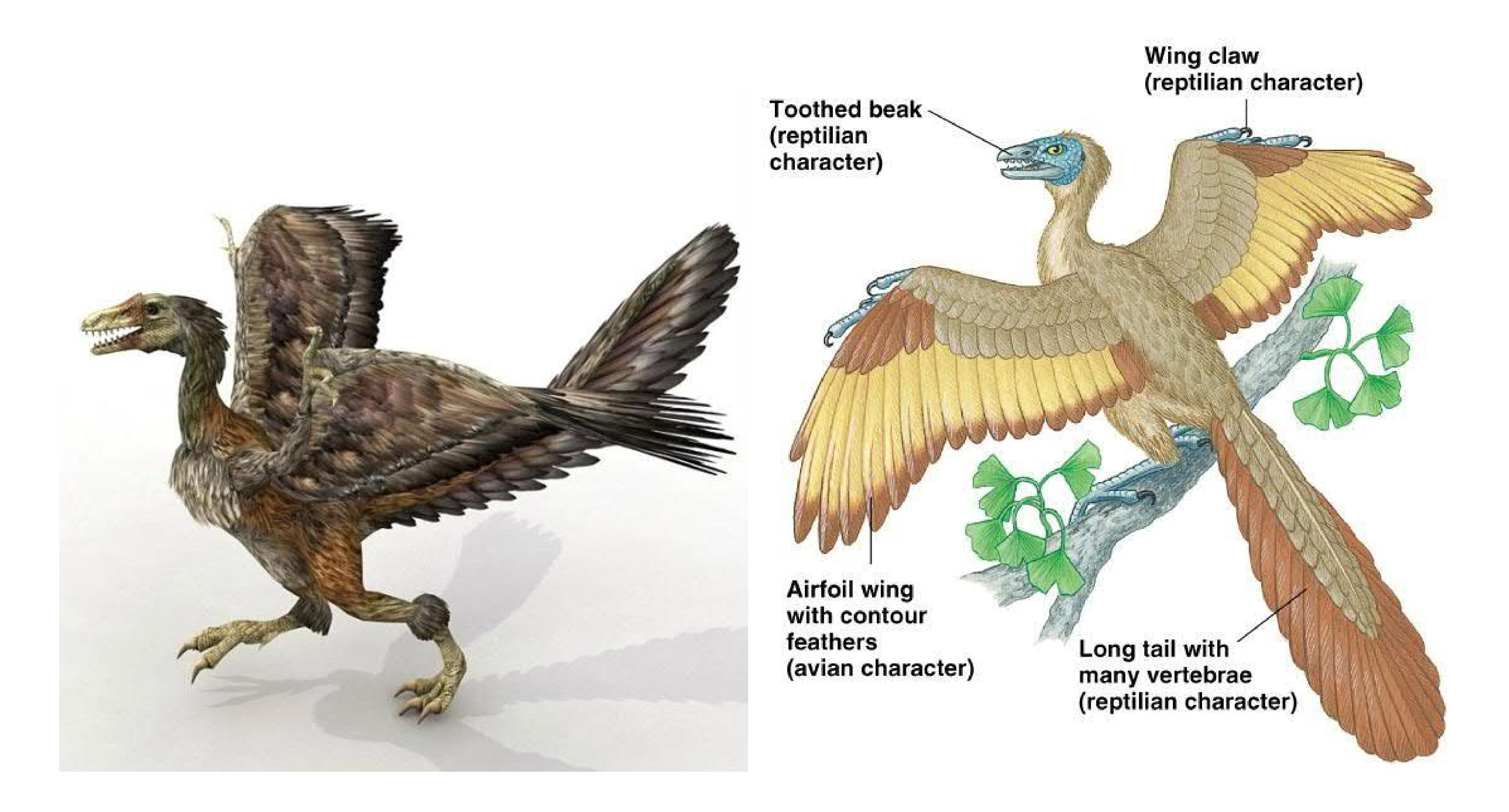
رفرفة الجناح القوية الموجَّهة إلى الأمام والأسفل هي أيضًا الضربة [الخفقة] القوية التي تمنح الطائرَ رفعًا للإقلاع. اقترحتُ أنا و Lipps أن رفرفة الجناح القوية [ما هي إلا] توسعة بسيطة للرفرفة الاستعراضية، تحسنت وتطورت من خلال السلوك القتالي. ربما رَفَعَتْ الرفرفةُ القويةُ المستعملة لتوجيه ضربات بالطرفين الأماميين الطائرَ عن الأرض، ممكِّنةً إياه من نبش عدوه من الأعلى بمخالب طرفيه الخلفيين. كلما كان الجناحان أسرع في قدرتهما على الرفع لتوجيه ضربة أخرى، ازداد قتالُه كفاءةً. هذا شجَّعَ سريعًا على تطور تحرك جناحٍ رافعٍ يقلِّل من مقاومة الهواء إلى أدنى حد، بالتالي عندئذٍ صارت حركة الجناح متطابقة تقريبًا مع خفقات الإقلاع.

يعتقد Kevin Padian أيضًا أن خفقات الجناحين تطورت من ضربات الذراعين التي استعملها ديناصورٌ لاحِمٌ سائر على قدمين theropod للافتراس (عوضًا عن التنافس [بين بني نفس الجنس]). ليس واضحًا بالنسبة لي كيف يمكن أن يؤدي هذا بسهولة إلى إقلاعٍ لكامل الجسد، فعلى العكس، تحاول المفترِسات تجنب المواقف التي كانت لتحتاج فيها إلى صراع طويل لإخضاع الفريسة. أما التنافس الجنسي فمسألة أخرى؛ فقد يقاتل الكائن الحي لأجل إنشاء ذريَّتِهِ، لكن ليس لأجْل وجبة أخرى.

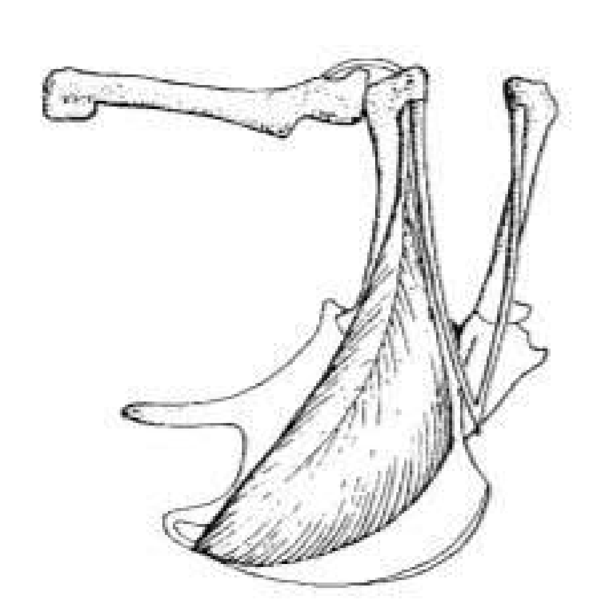
يلائم الطير العتيق (الأركيوبترِكس Archaeopteryx) فرضيتَنا الخاصة بالاستعراض والقتال على نحوٍ جيدٍ. فقد كان متكيفًا على نحو جيد للاستعراض. فكأي ديناصور لاحم سائر على قدمين theropod صغير الحجم، كان مُعَدًّا على نحوٍ جيدٍ للقتال بأسنانه وبمخالبه القوية في يديه وقدميه. لم يكن للطائر العتيق ريشٌ أولانيٌّ [أو أمامي] على أصابعه (الصورة ١٣– ١٨)، ربما لأنها كانت ستخبِّئ المخالب في أثناء الاستعراض وكانت على الأغلب جدًّا ستتكسر في قتالٍ.



الرسم ١٣– ١٨ إعادتنا إنشاء لجناح الطير العتيق Archaeopteryx، رسمهما Gerhard Heilmann، أحدهما رسمه عام ١٩٢٦م. بدلًا من الريش الأمامي على أطراف الجناحين، حملت الأصابع واستعرضت وبلا شك استعرضت مخالبَ.



لم يستطع الطير العتيق الطيرانَ على نحوٍ جيد؛ بل أني أشك أنه طار على الإطلاق. ربما كان قادرًا على التزلق لمسافة قصيرة، لكنه لم يستطع أن يحافظ على طيران مرفرِف. ولم يكن له عظم الصدر breastbone [أو القص المغروز فيه أطراف الأضلاع من الجانبين]، ولم يكن له حفرة عبر مفصل الكتف يمر عبرها الوتر الكبير الذي يعطي حركة جناح إلى الأعلى سريعة قوية المديرة الثانية للجناح في الطيور الحية المعاصرة. يمر هذا الوتر عبر مفصل الكتف، ومثلما يرفع الجناحَ، فإنه يثنيه ويُديره. عند حركة الجناح إلى أعلى، ينظِّم الثني [أو الالتفاف] الجناحَ والريش بحيث ينزلق بسهولة خلال الهواء، مع قوة جذب [أرضية] ضئيلة. عند ذورة الحركة إلى أعلى، فإن الجناح يكون في الوضع المناسب بالضبط لتوجيه ضربة قوية إلى أسفل. وبدون الجهاز فوق الناتئ الغرابي (الشكل ١٣– ٩)، والذي يسهُل التعرف على وجوده لأنه يترك أثرًا قويًّا على مفصل الكتف، لا يستطيع طائرٌ الطيرانَ برفرفة الجناحين. في الحقيقة، فإنه لا يستطيع حتى الإقلاعَ أو الهبوطَ، لأن أكبر طاقة من الجناحين الخافقين بسرعة متطَلَّبةٌ حتى أثناء الطيران البطيء.



الشكل التوضيحي ١٣– ١٩ افتقد الطير العتيق الكثيرَ من صفات الطيور الحية. فكل الطيور الحية لديها عضلة قوية، وهي العضلة فوق الناتئ الغرابي الكتفي supracoracoideus، الظاهر في الصورة هنا يمر من عند عظم الصدر breastbone [أو القص المغروز فيه أطراف الأضلاع من الجانبين] إلى اتجاه الأعلى من خلال حفرة خصوصية في مفصل الكتف إلى الجانب الأعلى من العضد. إنها تتحرك لثني وبسط الجناح عندما تُرفَع. في أثناء ذلك تعمل عظمة الشويكة الصدرية (الترقوة) wishbone كزنبرك [سوستة] لمنع الحزام الكتفي من الانسحاب من مكانه أكثر من اللازم عندما تدفَع عضلاتُ الجناحِ مفاصلَ الكتفِ. لم يطوِّر الطيرُ العتيق [أو بالأحرى لم يَتَطوَّر فيه] هذا الجهاز. لم يكن لديه ثقب في مفصل الكتف، ولم تكن لديه أربطة عضلية على العضد للعضلة فوق الناتئ الغرابي الكتفي، وكانت الشويكة الصدرية لديه كبيرة وصلبة ومُصْمَتة، بدلًا من الشويكة الصدرية المرنة الشبيهة بالزنبرك [الخاصة بالطيور].

في الطيور الطائرة الصغيرة في العصر الحالي، فإن عظمة الترقوة أو الشويكة الصدرية تعمل كزنبرك تعيد مفاصل الكتف إلى مواضعها الأصلية بعد ضغوط كل ضربة جناح. إنها مُستلزَمة وضرورية لتوفير الرفرفات السريعة الضرورية للطيران. كمثالٍ، يطير الزرزور بـ ١٤ خفقة جناح كاملة في الثانية الواحدة. تساعد عظمة الشويكة الصدرية (الترقوة) أيضًا على ضخ الهواء إلى الرئتين وإلى خارجهما، وعلى استعادة بعض الطاقة العضلية التي توضَع في توجيه الضربات السفلية. لكن عظمة الشويكة الصدرية في الطير العتيق Archaeopteryx وفي الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods كانت على شكل حرف U وقوية وصلبة، ولا يمكن أن تكون قد عملت كزنبركيات فعالة. علاوة على ذلك، فإن الطير العتيق لم يكن لديه الريش الأمامي الطويل على أطراف أجنحته، ولا عظم الصدر breastbone [أو القص المغروز فيه أطراف الأضلاع من الجانبين] التي تُثَبِّتُ العضلات المستلزَمة للإقلاع والهبوط المعتادين. فلم يستطع رفع ذراعيه عاليًا فوق جسده لتوجيه ضربة باتجاه الأسفل فعَّالة قوية. في الواقع لقد طور [أو بالأحرى تطور في] الطير العتيق تراكيب كانت معيقات فعّالة للطيران. لقد كان ذيله طويلًا عظميًّا، ذا ريشٍ طويل. فبين الطيور الحية المعاصرة ذوات الريش الاستعراضي، سيكون هذا النوع من الذيول هو الأسوأ من الناحية الهوائية الديناميكية من بين كل أنواع الذيول المُمْكِنة، مُزيدًا الكثير من طاقة الجذب [الأرضي] ومقلِّلًا طاقة الرفع.

إذن، فقد كان الطير العتيق [أركيوبِتْرِكسْ Archaeopteryx] طيرًا استعراضيًّا راكضًا سريعًا صغير الحجم مفترسًا، والذي قضى على الأرجح حياته يعدو حول شاطئ Solnhofen، يبحث عن الفرائس الصغيرة لافتراسها مثل القشريات والزواحف والثدييات. كان أشبه في نمط صيده على الأرجح بطائر الجوّاب أو الراكض roadrunner، الخاص بالبلد الجاف الجنوب شرقي أمِرِكِي [الجوَّاب هو جنس من الطيور السريعة الحركة من الوقواقيَّات، ويعيش في الأراضي منخفضة الأشجار في جنوب غربي الولايات المتحدة، وفي المكسيك. ويستطيع طائر الجوَّاب الطيران. لكنه يفضل البقاء أغلب وقته في مسكنه الأرضي، ويمكنه العدو بسرعة تصل إلى ٢٤ كم في الساعة، وتقتات الطيور الجوَّابة على الحشرات والفقاريات الصغيرة كغذاء رئيسي، ومنها السناجب الأمريكية (الغوافر) وأفراخ الطيور، والفئران والسحالي، والثعابين. وهي تقتل فرائسها الكبيرة بضربها على شيء صلب ثم ابتلاعها مرةٍ واحدة، ويُعرَف كذلك باسم الوقواق الأرضي، وقاتل الحيات]، لكن وضعه الإيكولُجي كان شبيهًا بالخاص بالبط الغير طائر ذو القدمين المجدافيتين الجنوبي أمِرِكي steamer ducks، عائشًا على ساحلٍ مع توفر إمدادِ طعامٍ على مدار السنة. لو كان الأمر كذلك، إذن فإن الطير العتيق لم يتنافس في الهواء مع الزواحف المجنحة الإصبع [التيروسورات pterosaurs] التي توجد متحجراتها أيضًا في الحجارة الجيرية لمنطقة Solnhofen بجرمانيا، وإن أول طيْرٍ لم يَطِرْ.

من القتال إلى الطيران

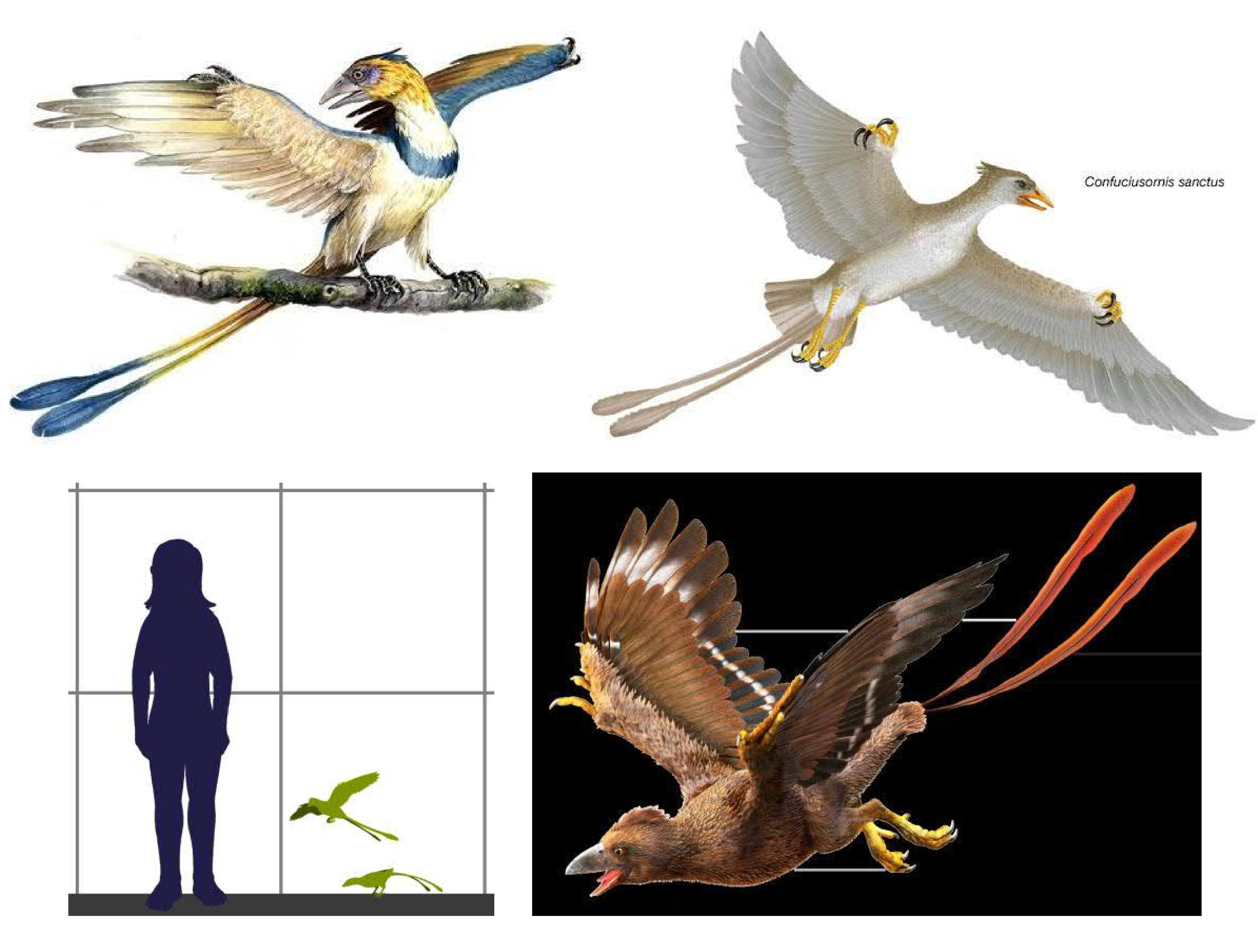
يستهلك الاستعراض والقتال في الطيور الكثير من الطاقة، سواءً أكان للصراع على منطقة أو هيمنة أو طعام، لكنه يقدِّم مقابلًا هائلًا في ما يخص البقاء والانتخاب. يجب أداء الاستعراض الجنسي في معظم الطيور الحية المعاصرة على نحو سليم، وإلا لن يحدث تزاوج. يمكن أن تتطور سلوكيات جديدة سريعًا، وهي في العادة تكون رخيصة التكلفة تطوريًّا، لأنها عادةً لا تتطلب تغيرات تشريحية هامة في مراحلها المبكرة.

يُرَكِّز السيناريو الخاص بنا في الارتفاع وكذلك الاندفاع. إنه يقترح أن الطيور الأقدم طوَّرَت سلوكًا وتشريحًا [تركيبًا بُنْيَويًّا] وخبرةً خاصة بالطيران بسرعة أرضية منخفضة وعند ارتفاع منخفض؛ كتدريب سابق على الطيران نموذجي. المقابل [أو الربح] الانتخابي لبراعة واتقان حركات الطيران هو إعطاء أفضليات هامة، حتى قبل أن يصير الطيرانُ نفسُهُ مُمْكِنًا. النشاط قصير الزمن إلا أنه قوي يمكن أن يقدم أفضلية انتخابية كبيرة، أفضلية بدأت حالما استطاعت الأسطح المُرَيَّشة توليدَ أيَّ رفعٍ على الإطلاق.

لم يكن الأمر يستلزم أن تكون ضربات الأجنحة السريعة أساسية [وفقًا لهذه الفرضية]، بخلاف ما هي عليه في فرضيات الركض؛ بل كان على ضربات الأجنحة أن تكون أسرع فقط من ضربات المنافسين.

من المرحلة التي يضرب الطير العتيق Archaeopteryx مثالًا عليها، أضيفَت الأفضليات الكثيرة الخاصة بالطيران إلى الأفضليات الخاصة بالتنافس الاجتماعي أو الجنسي. أنا لا أعتقد أنها مصادفةٌ أن ذكورَ الطيور الصينية من العصر الطباشيري المبكر _مثل Confuciusornis [طائر كونفوشيس] و Changchengornis [طائر سور الصين العظيم] كان لديها ريش استعراضي طويل على نحوٍ مُفرِطٍ على ذيولها! وفي الطيور الأكثر تقدمًا من الطير العتيق Archaeopteryx، تطور جهاز الوتر فوق الناتئ الغرابي في الكتف، بينما تطورت عظمة الترقوة wishbone [العظمة الأمامية المتشعبة في عظم الصدر أيْ القص لمعظم الطيور] إلى زنبرك. تطور عظم الصدر breastbone [أو القص المغروز فيه أطراف الأضلاع من الجانبين] كمُثَبِّتٍ

لعضلات الطيران. صار الطرفان الأماميان أطول وأخف وأكثر هشاشة في البنية العظمية، صائرَين متخصِّصين كجناحين، وفقدا مخالب الأصابع. في غضون ذلك، صارت القدمان والمنقار أسلحة القتال المهيمنة، كما في معظم الطيور الحية.







متحجرتان لذكور الطائر Confuciusornis [طائر كونفوشيوس] يُلاحَظ فيهما طول ذيول الذكور، كسِمَةٍ لتباين الشكل الجنسي في نوعيه الذكر والأنثى







متحجرات لإناث الطائر Confuciusornis [طائر كونفوشيوس]، يُلاحظ قِصَر ذيولها



متحجرتان لذكور Changchengornis [طائر سور الصين العظيم]

طيور العصر الطباشيري

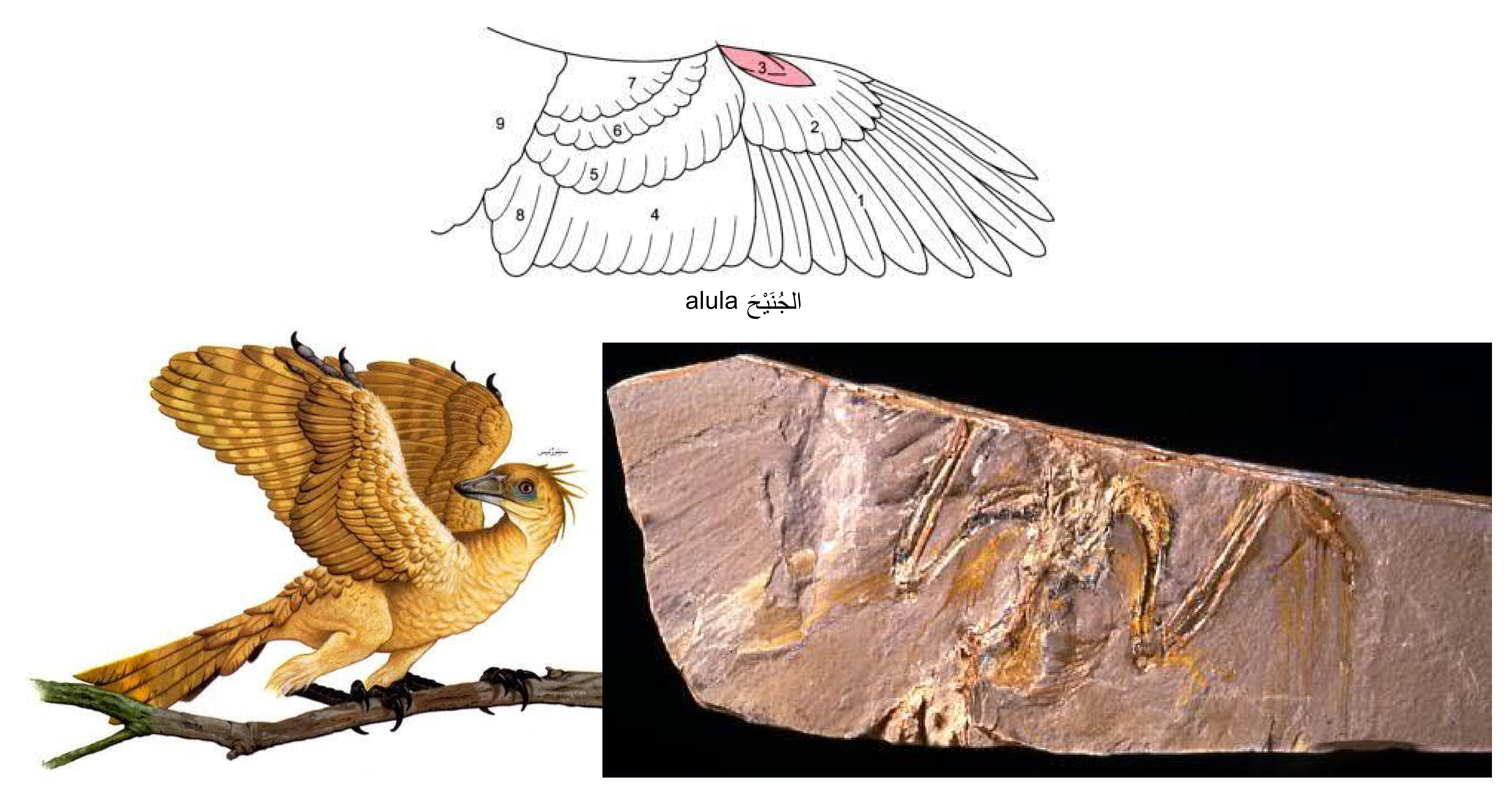
كان تشعب الطيور سريعًا جدًّا. ظهر من صخور العصر الطباشيري المبكر بقايا طيور في كل القارات الشمالية وفي أستراليا. كان لـ Sinornis [يعني اسمه الطير الصيني] وهو طائر بحجم العصفور من العصر الطباشيري المبكر في الصين الكثير من الصفات المرتبطة على نحو مباشر بطيران وجثوم أفضل بكثير مما كان ممكنًا في الطير العتيق Archaeopteryx. كان الجسد والذيل أقصر، وقد كان بالذيل فقرات مدموجة ملتحِمة عند طرفه والذي وفَّر

أساسًا وقاعدةً محكمة قوية لكنها خفيفة للريش القوي للذيل. صار مركز كتلة الجسد أكثر تقدمًا إلى الأمام بكثير، أقرب إلى الجناحين. وكان لـ Sinornis [الطائر الصيني] عظمة صدر [breastbone أو القص المغروز فيه أطراف الأضلاع من الجانبين]، ومفصل كتفي يمكّنه من رفع جناحيه فوق المستوى الأفقي تمامًا، وأصابع متكيفة لدعم الريش بدلًا من المخالب المُمْسِكة والممزِّقة. استطاع المعصم الانطواء بشدةٍ أكثرَ بكثيرٍ إلى الأمام في مقابل الذراع أكثر من درجة ٩٠° التي نراها في الطير العتيق Archaeopteryx، لذلك أمكن طي الجناح وضغطه بأناقة [في ثلمة أو أخدود خاص للجناح المطوي] في أثناء حركات الجناح إلى أعلى أو على الأرض، مما قل الجذب [الأرضي]. كانت قدماه أفضل تكيفًا بكثيرٍ للجثوم. رغم ما قلنا، فقد كان Sinornis [الطائر الصيني] لا يزال لديه بعض السمات البدائية جدًّا: حيث كانت جمجمته وحوضه أشبه بالخاصتين بالطير العتيق Archaeopteryx، فكجمجمة الطير العتيق كان خطمه ذا أسنان وقصير نسبيًّا، وامتاز بيد ورسغ منفصلين في كل طرف أمامي وغيرها من سمات مشابهة للطير العتيق.



Sinornis [الطائر الصيني]

تخبرنا متحجرات العصر الطباشيري المبكر المكتَشَفة حديثًا في إسبانيا والصين بنفس القصة. لقد حسَّنَ تطورٌ سريعٌ بين طيور العصر الطباشيري المبكر من قدرتها على الطيران والجثوم على نحوٍ دراميٍّ [كبير ومفاجئ]؛ ربما هذا سبب كون معظمها كانت صغيرة الحجم وخفيفة. كان لـ Confuciusornis [طائر كونوفشيوس] و Changchengornis [طائر سور الصين الأعظم] _من الصين_ عظامًا أخف من التي للطير العتيق، وكان لهما مناقيرُ حقيقيةٌ بدلًا من فكين ذَوَيْ أسنانٍ. طوَّرَ طائر Eoalulavis [الطائر صاحب أقدم جنيح معروف] _من إسبانيا_ الجُنَيْحَ alula [بروز صغير على الحافة الأمامية للجناح في الطيور الحديثة وبعض الطيور العتيقة. له دور في توجيه الجناح إلى زاوية هجوم أعلى من العادية بدون التسبب في تسارع انهيار الطيران]، وهو نسق الريش قرب طرف الجناح الذي يُمَكِّنُ من الطيرانِ البطيء بدون تسارع انهيار الطيران.



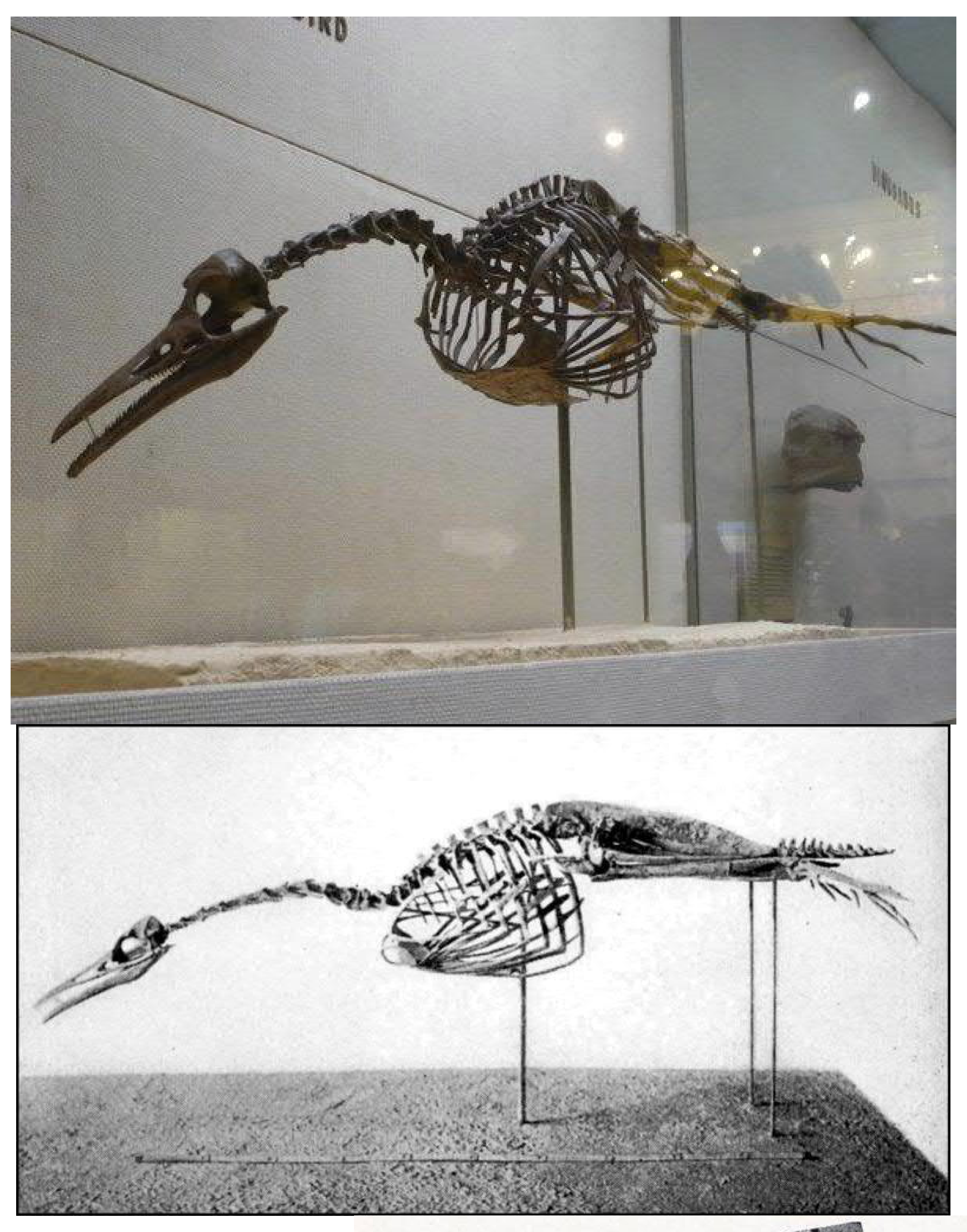
الجُنَيْحَ alula

طائر Eoalulavis [الطائر صاحب أقدم جنيح معروف، ومعنى اسمه اللاتيني حرفيًّا: فَجْر الجُنَيْح]

تاريخ تطور الجناح

معظم متحجرات طيور العصر الطباشيري جاءت من مواطن ساحلية، لكنها ربما تعكس تحيز الحفظ التحجري وليس الحقيقة الإيكولُجيَّة. لدينا [في المتاحف] متحجرات لطيور غاطسة من العصر الطباشيري المتأخر، مثل Hesperornis [يعني اسمه الطائر الغربي] (الصورة ١٣- ٢٠)، و

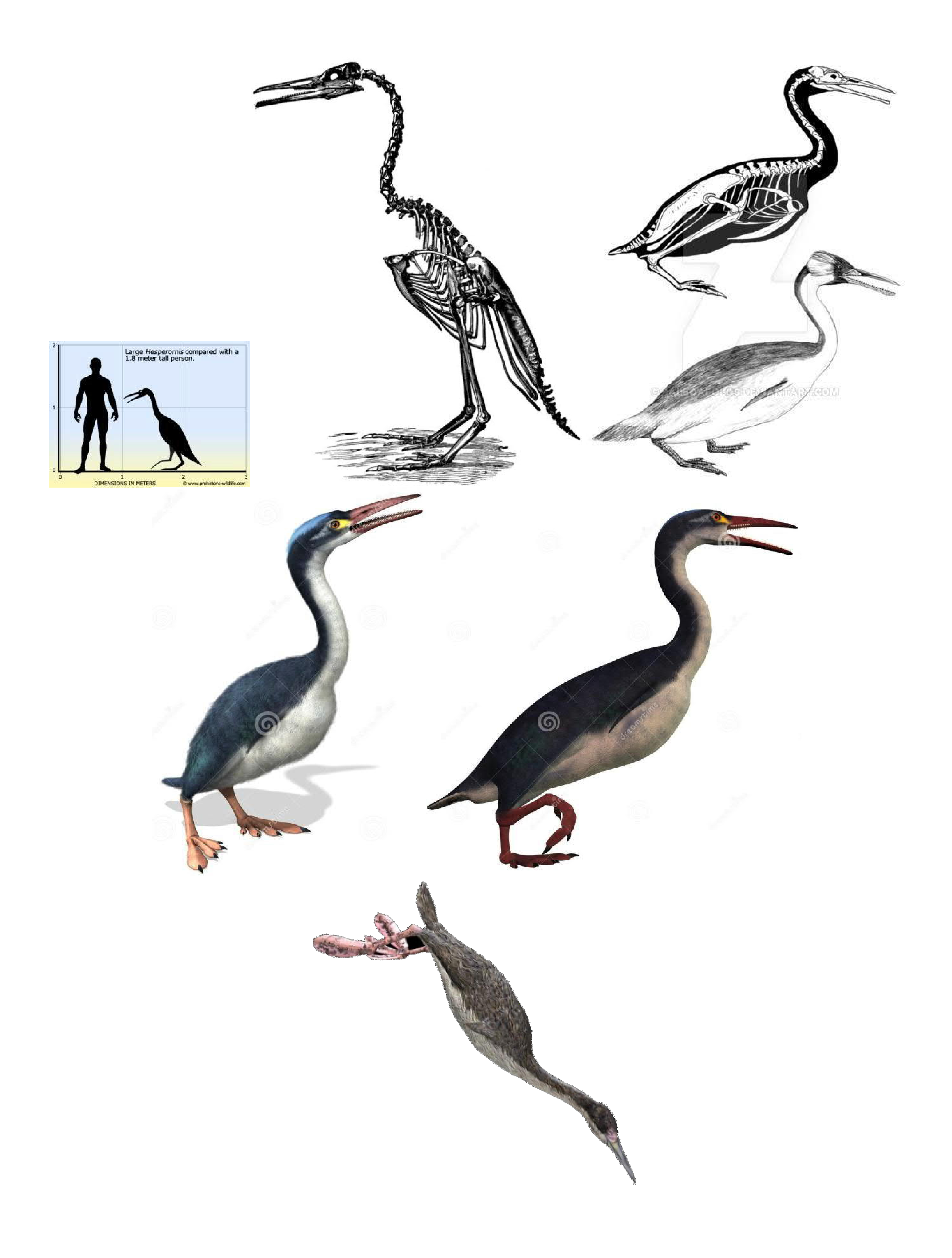
Ichthyornis [الطير المائي ذو الفقرات المشابهة لفقرات الأسماك] الذي كان في تكيفاته شبيهًا بطائر الخرشنة المائي [طائر شبيه بالنورس] (لصورة ١٣- ٢١).

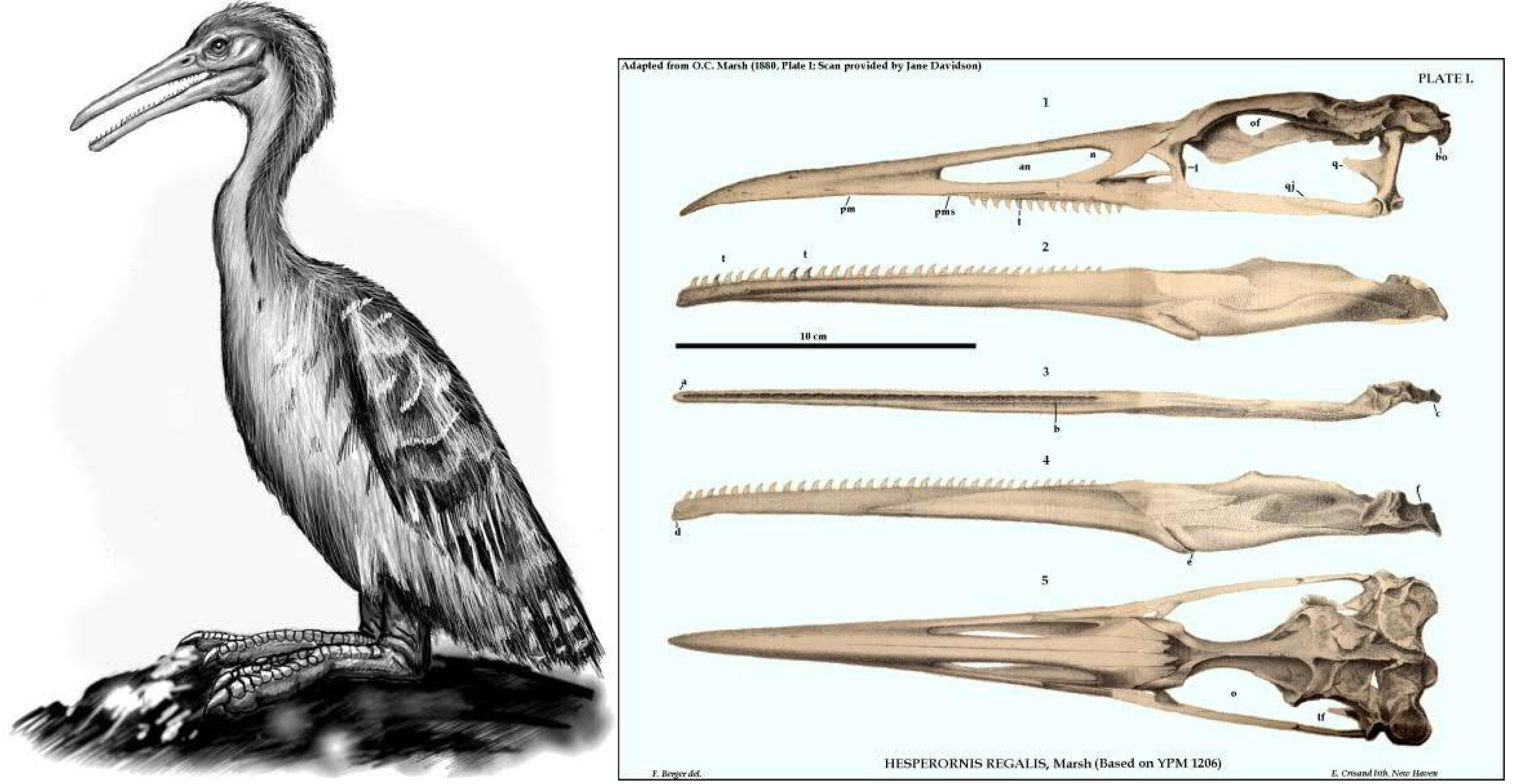




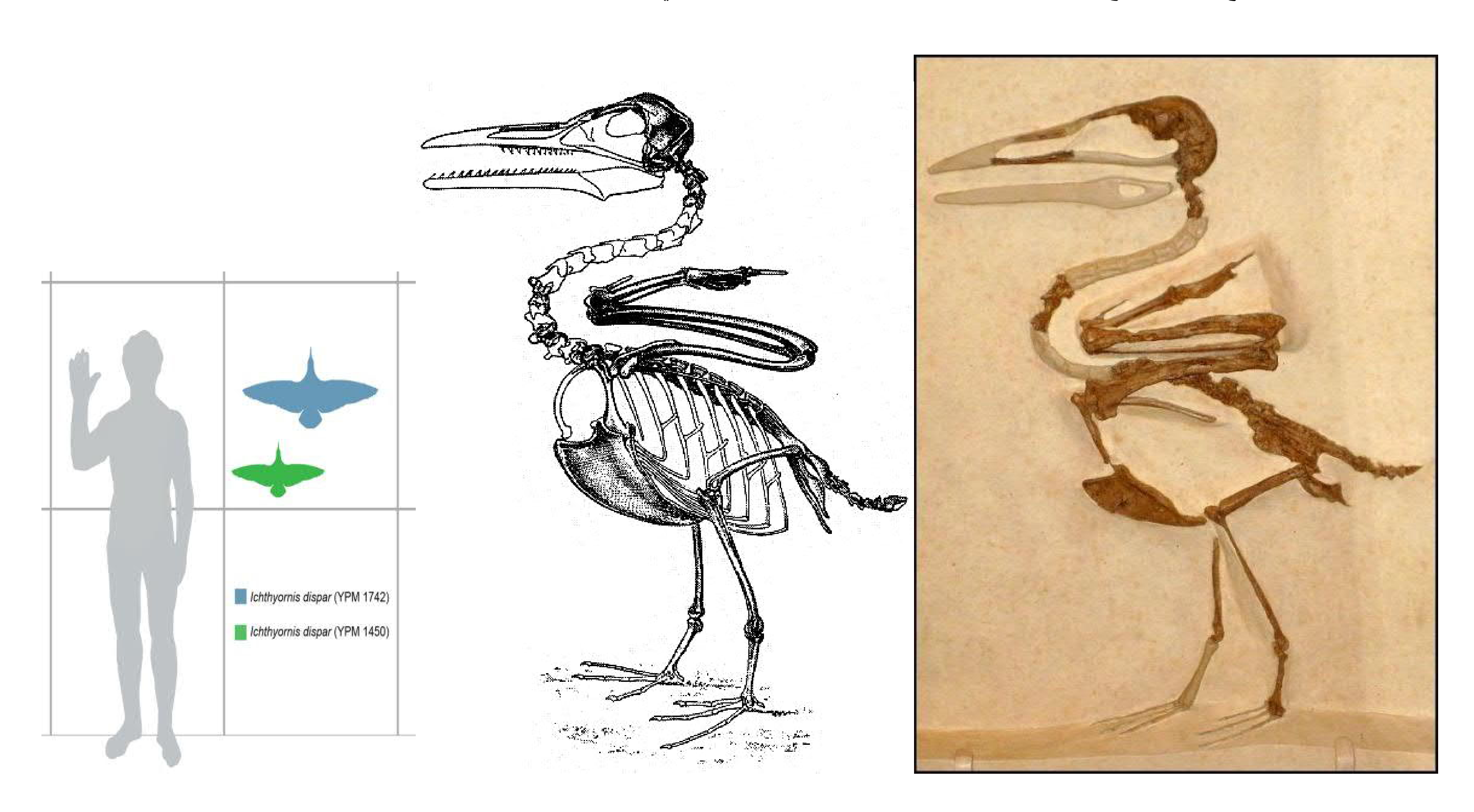


الصور ١٣- ٢٠ بعض متحجرات Hesperornis [يعني اسمه الطير الغربي]


Large *Hesperornis* compared with a 1.8 meter tall person.
DIMENSIONS IN METERS
© www.prehistoric-wildlife.com



إعادات بناء وتصور للطير الغير طائر الغطَّاس من العصر الطباشيري Hesperornis [يعني اسمه الطير الغربي]، لقد كان له سلف طائر [كان يطير]، لأن كتفيه وعظمة صدره لها تراكيب تترافق مع خفقات الجناح القوية السريعة المتجهة إلى أعلى. وكان له أسنان، وهي سمة بدائية بالنسبة للطيور.



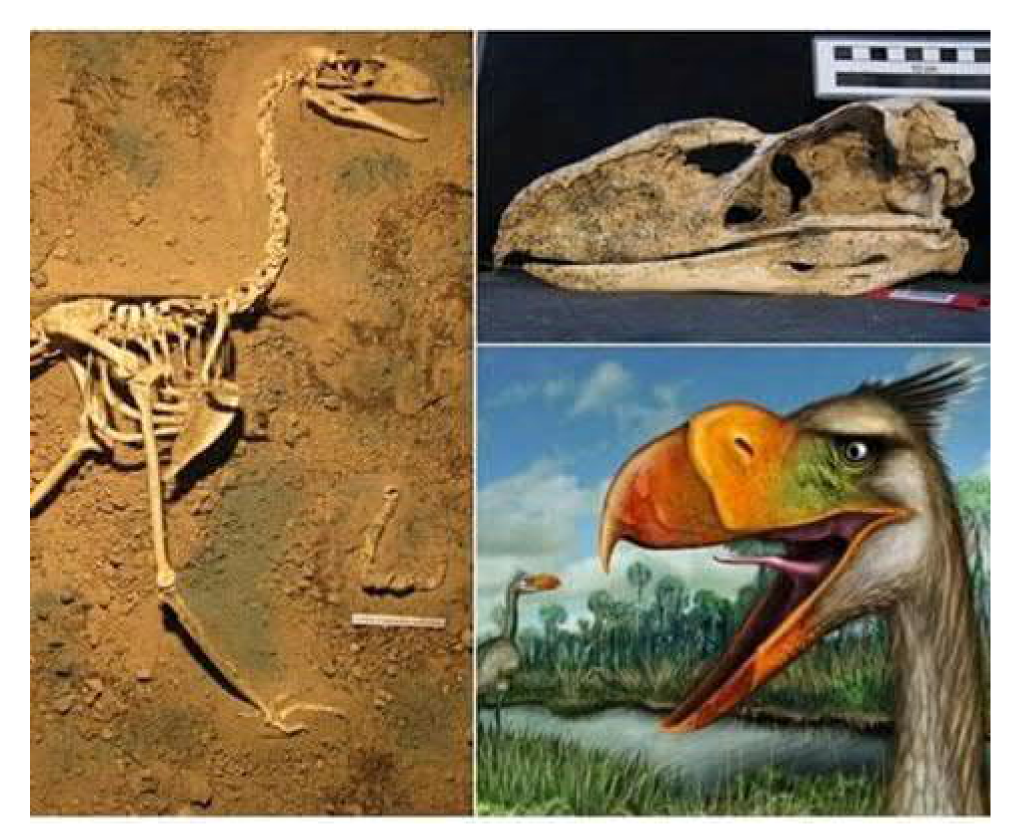


الصور ١٣– ٢١ متحجرة لـ Ichthyornis [الطائر المائي ذو الفقرات المشابهة لفقرات الأسماك] من العصر الطباشيري وإعادات بناء له. يبدو أنه كان طائرًا [أو طيَّارًا، يطير] رشيقًا أكل الأسماكَ، ذا طريقة حياة شبيهة للغاية بالخاصة بطائر الخرشنة المعاصر. لاحظ أن Ichthyornis كان لديه أسنان.

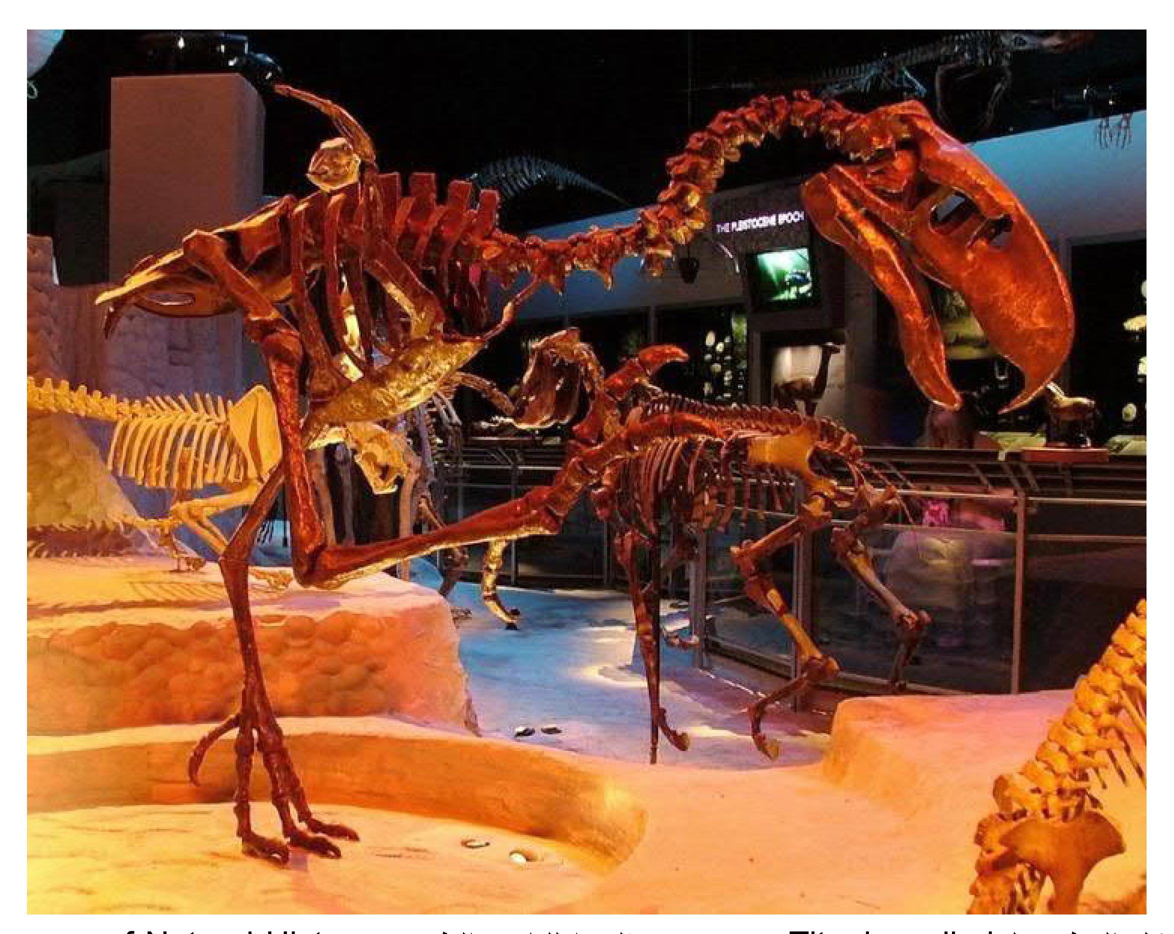
طيور دهر الحياة الوسيطة

عندما انقرضت الديناصوراتُ عند نهاية العصر الطباشيري، لا بد أنه كانت هناك فرصة مفيدة مواتية جدًّا للكائنات الحية الناجية الباقية على قيد الحياة لغزو الفرغات [الكُوَّات، الأدوار البيئة، طرق الاعتياش] المترافقة مع أحجام أجساد أكبر على الأرض [البرّ]. كانت المجموعتان المتنافستان الرائدتان هما الطيور والثدييات، ورغم أن الثدييات سرعان ما صار بعضها عواشبَ كبيرة الأحجام، فقد كانت الطيور هي التي صارت المفترِسات المهيمنة البريَّة في بعض الأقاليم في العصر الباليوسيني (أقدم فترة من دهر الحياة الحديثة، ما بين ٦٥ و٥٥ مليون سنة ماضية تقريبًا). تطورت هذه الطيور لتصير سائرة على قدمين بريَّة غير طائرة مرةً أخرى. فهذه هي الطريقة الوحيدة ليصير طائرٌ ثقيلًا وقويًّا.

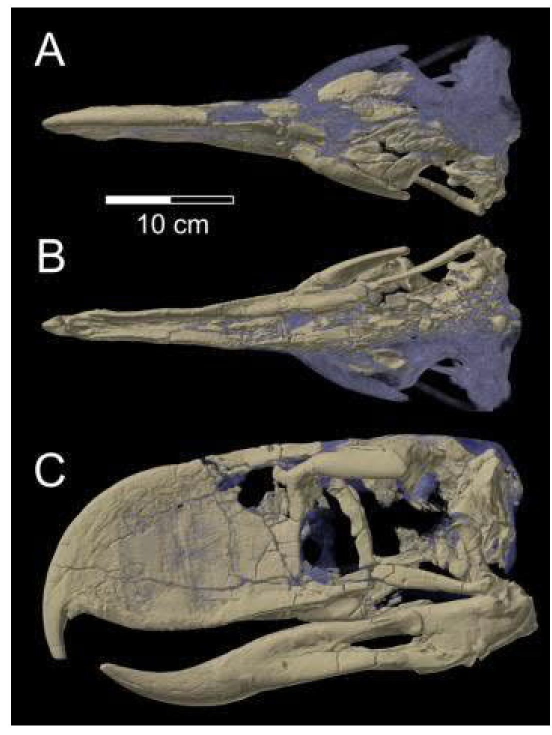
عاشت طيور كبيرة الأحجام غير طائرة تُسمَّى بالدياتريمويَّات diatrymas [أو ربما نترجمها إلى الطيور الضخام الشمالية أو التريميَّات، والاسم مأخوذ من trym اسم عملاق أسطوري في الأساطير النرويجية القديمة] (على اسم أحد أنواع تلك الفصيلة، وهو Diatryma دياتريما المعروف كذلك باسم Gastornis طير جاسْتُر، أحد أكبر أنواع الفصيلة حجمًا) عَبَرَ كل نصف الكرة الشمالي في العصرين الباليوسيني والإيوسيني. لقد كان طول قاماتها حوالي مترين (٦ أقدام)، وكان لهم رجلان ضخمتان ذوات مخالب وحشية، ومنقار ضخم قوي بدا كأداة قاتلة بنفس فعالية رأس التيرانوسور [الديناصور الجبَّار]. ربما قتل الـ Diatryma [Gastornis طيرُ جاسْتُر] المكتمِل النموِ الكثيرَ من الثدييات في المُستعمَرات الحيوية التي قطنَ بها. وهيمنت طيور لاحِمة مفترِسة ذوات تكيفاتٍ مُشابِهة، وهي المعروفة بطيور الرعب أو الطيور المُرعِبة phorusrhacids [الفورسراسيديَّات، (باللاتينية: Phorusrhacidae) أي "ذوات الفكوك المتغضنة"، اسم الفصيلة مأخوذ من اسم أحد أنواعها Phorusrhacos ويعني ذو الفك المتغضن] على الأنظمة الإيكولُجيّة [البيئية الاعتياشية] الخاصة بسهول أمِركا الجنوبية لاحقًا زمنيًّا إلى حدٍّ ما (الصورة ٣– ٢٢). انقرضت الدياتريمويَّات diatrymas عند نهاية عصر الإيوسين، أما طيور الرعب phorusrhacids فقد بقيت على قيد الحياة حتى آخر العصر البليوسيني. كان طول بعض طيور الرعب 2, 5 متر (٧ أقدام)، وقد عبرت أنواع منها مثل طائر الرعب رائع المنظر Titanis [الطير الغير طائر الضخم، والاسم مأخوذ من التيتان الأسطوريين عند الجريكيين] إلى فلورِدا بأمِركا الشمالية من أمِركا الجنوبية منذ أقل من ٣ ملايين سنة ماضية. لقد كان أكبر من حجم النعامة وقد سبَّبَ بلا شكٍّ ذعرًا واضطرابًا مؤقتًا على أقل تقدير بين ثدييات فلورِدا في ذلك الزمن.



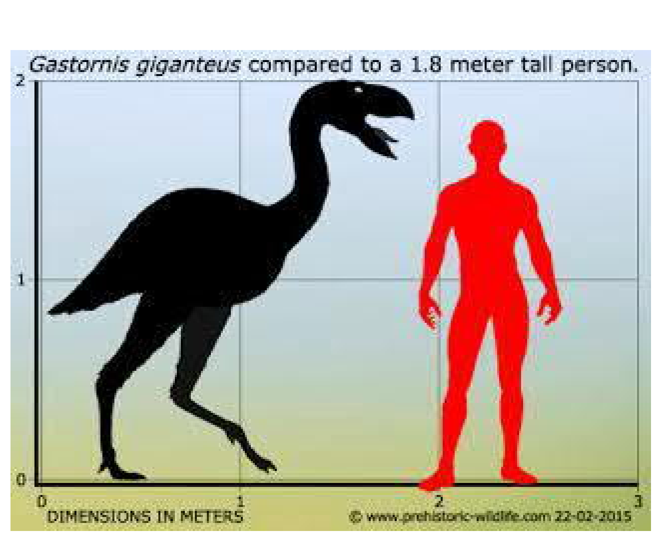
الصورة ١٣- ٢٢ Llallawavis من فصيلة Mesembriornithinae من رتبة طيور الرعب Phorusrhacidae من العصر البليوسيني من دهر الحياة الوسيطة Cenozoic في الأرجنتين، يلاحظ شدة انحناء وتعوج رقاب طيور الرعب



إعادة بناء للهيكل العظمي لـ Titanis walleri، من متحف فلورِدا للتاريخ الطبيعي Florida Museum of Natural History

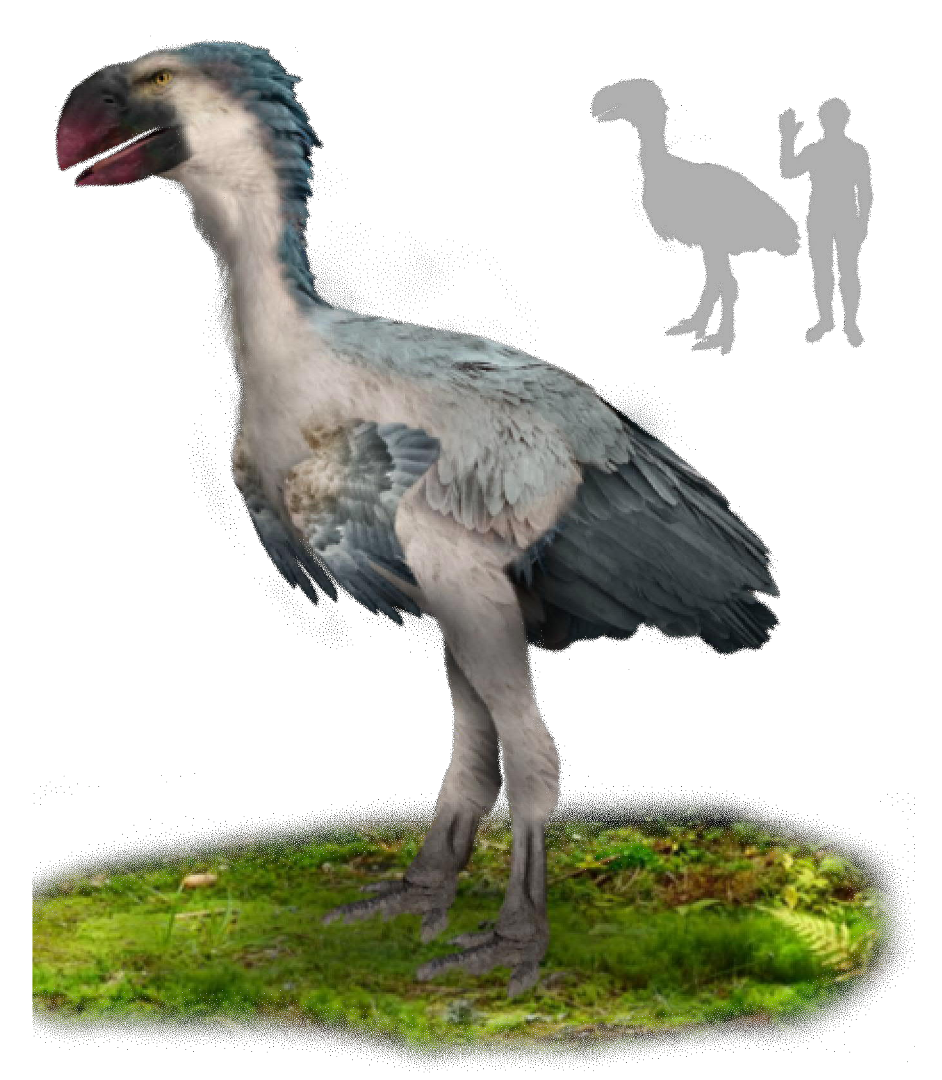


أشعة مقطعية كمبيوترية لجمجمة الطائر متوسط الحجم Andalgalornis steullet





متحجرات لـ Gastornis طائر جاسْتُرْ من عصر الإيوسين، ويُعرف كذلك باسم Diatryma أو التريمي أو ذي حجم العملاق الخرافي تريم



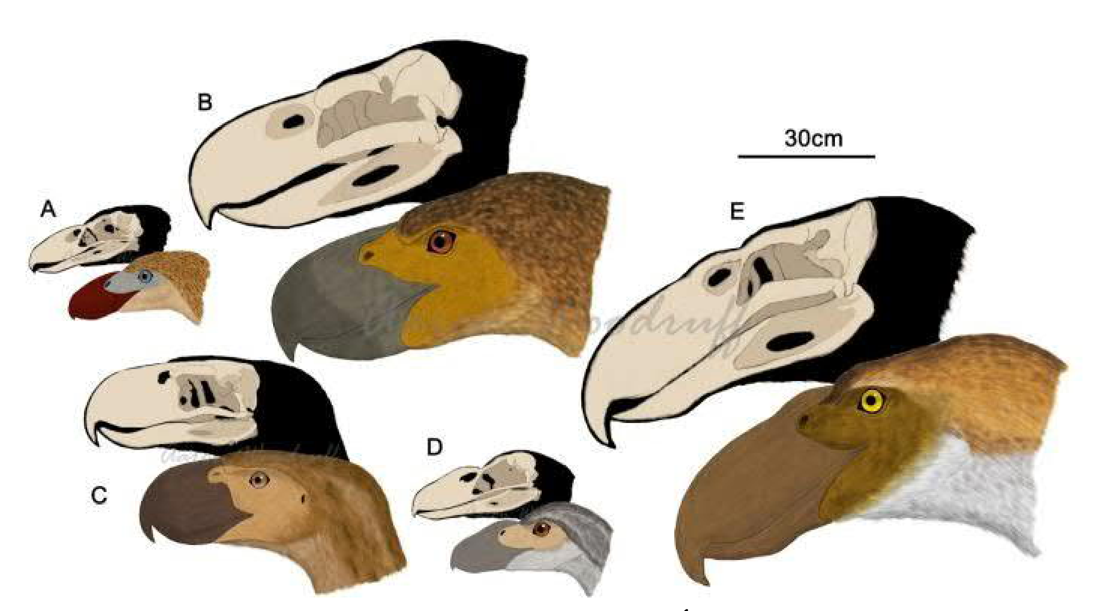
إعادة بناء لـ Gastornis طائر جاسْتُرْ، ويُعرف كذلك باسم دياتْريما Diatryma



Titanis walleri عُثِر على متحجراتٍ له في تكساس وفلورِدا بأمِركا الشمالية، هذا يجعل طيور الرعب phorusrhacids المثال الوحيد لمفترِسات ضخمة هاجرت من أمِركا الجنوبية إلى أمِركا الشمالية أثناء حدث تبادل الكائنات الكبير بينهما بالهجرة.

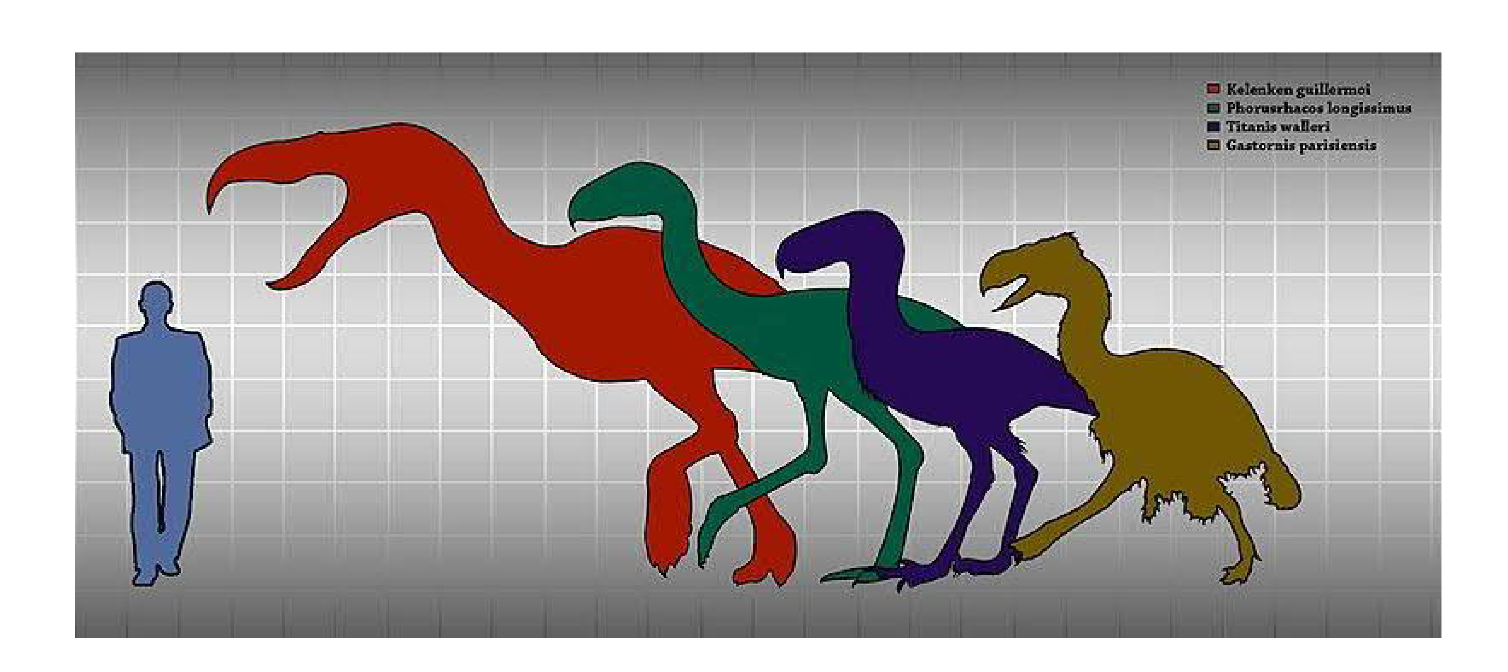


متحجرة لأحد طيور الرعب

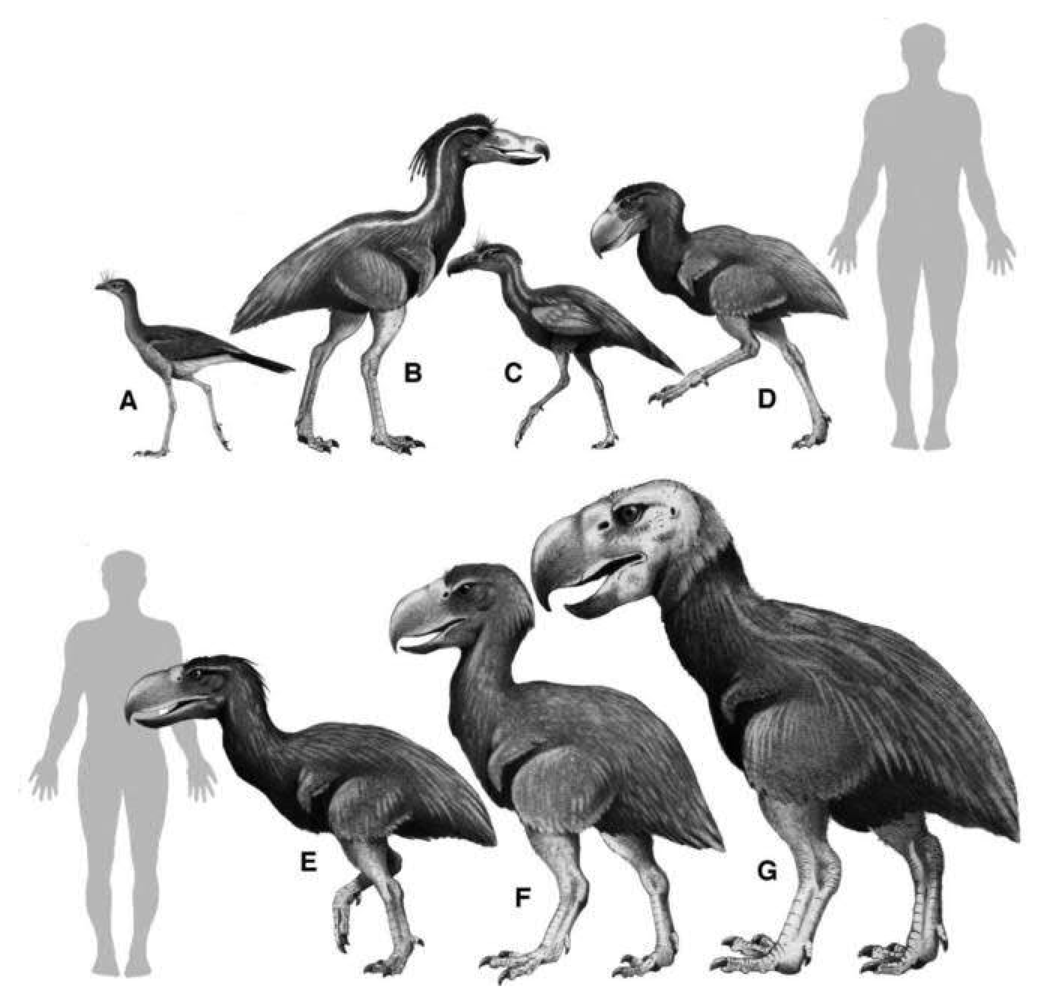


إعادة بناء لشكل رؤوس أنواع تمثل جميع الفصائل الفرعية لطيور الرعب

A. Psilopterus lemoinei (Psilopterinae), B. Paraphysornis brasiliensis (Brontornithinae), C. Andalgalornis steuletti (Patagornithinae), D. Llawllavis scagliai (Mesembriornithinae), E. Kelenken guillermoi (Phorusrhacinae).

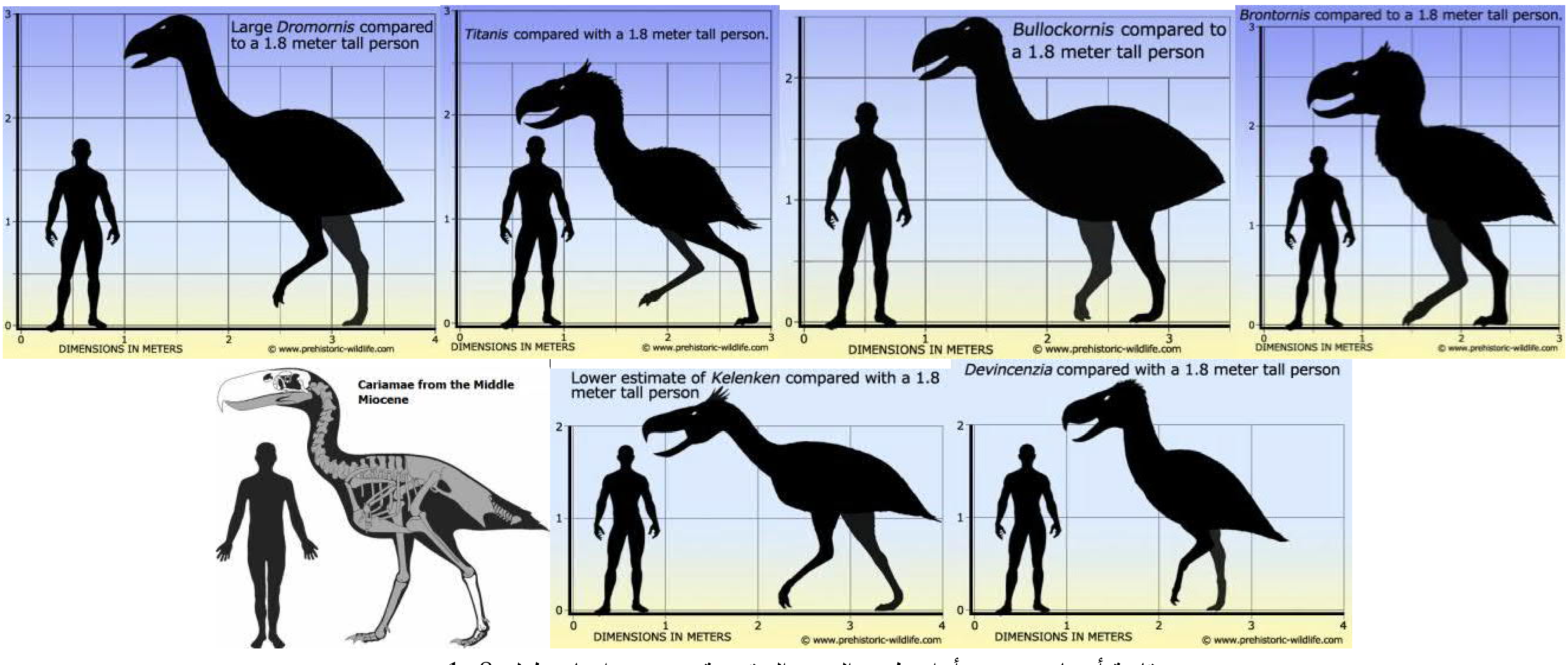


مقارنة بين حجم الإنسان وعدد من الطيور الضخمة الغير طائرة قاطنة الأرض المنقرضة



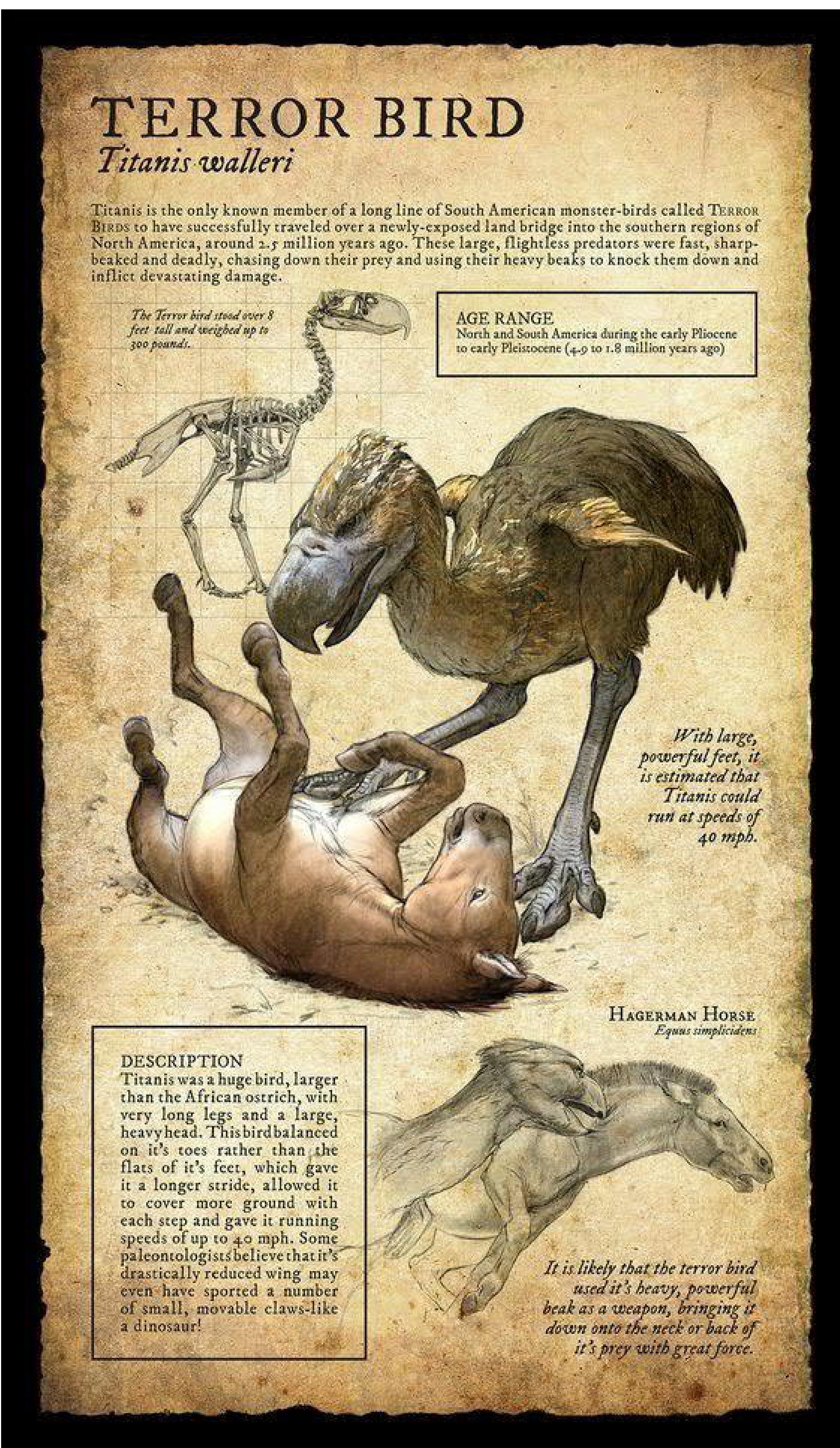
A)Cariama cristata or seriema ; (B) Mesembriornis milneedwardsi; (C) Psilopterus bachmanni; (D) Andalgalornis steuletti; (E)) Phorusrhacus longissimus; (F)Paraphysornis brasili

ملاحظة: seriema هو نوع لا يزال على قيد الحياة، ذو قرابة لطيور الرعب phorusrhacids الضخمة رغم صغر حجمه.



مقارنة أحجام عدد من أنواع طيور الرعب المنقرضة مع حجم إنسان طوله 8 ,1 متر

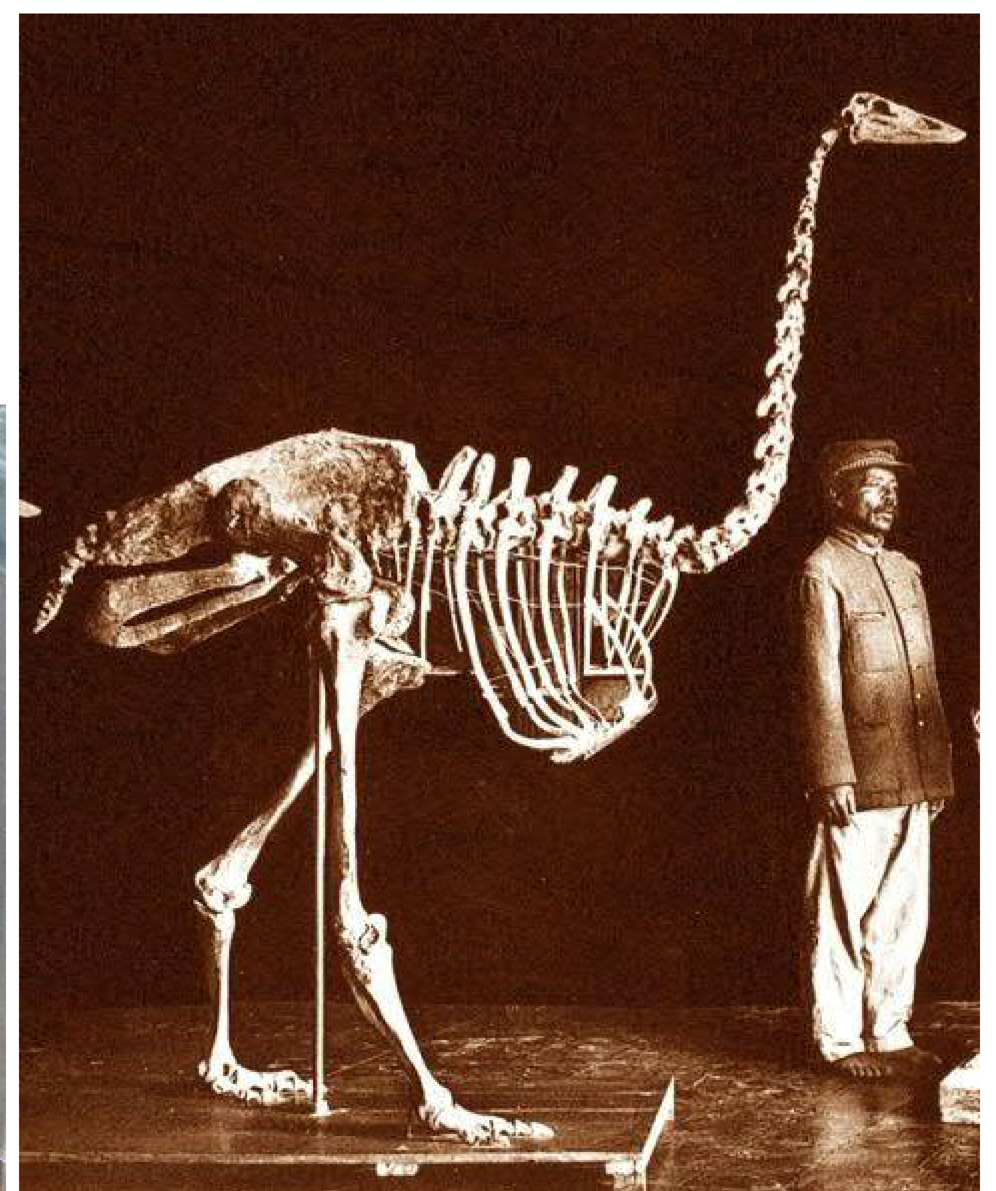




أحد الطيور المرعبة يصطاد أحد أسلاف الأحصنة والتي كانت صغيرة الأحجام مقارنة بالأحصنة المعاصرة الحديثة باستعمال مخالبه أو منقاره لجرح الفريسة

وبالقارات الجنوبية عدد من أنواع الطيور الغير طائرة الكبيرة الأحجام. الأشكال الحية مثل النعام ostrich والشبنم (شبيه النعام) cassowary والريَّة rhea والإيمو emu مألوفة على نحوٍ كافٍ لنا، لكن أشكالًا وأنواعًا أكثر إثارةً للاهتمام منقرضة. تصنَّف كلُ أنواع هذه الطيور على نحوٍ غير مُحكَم على

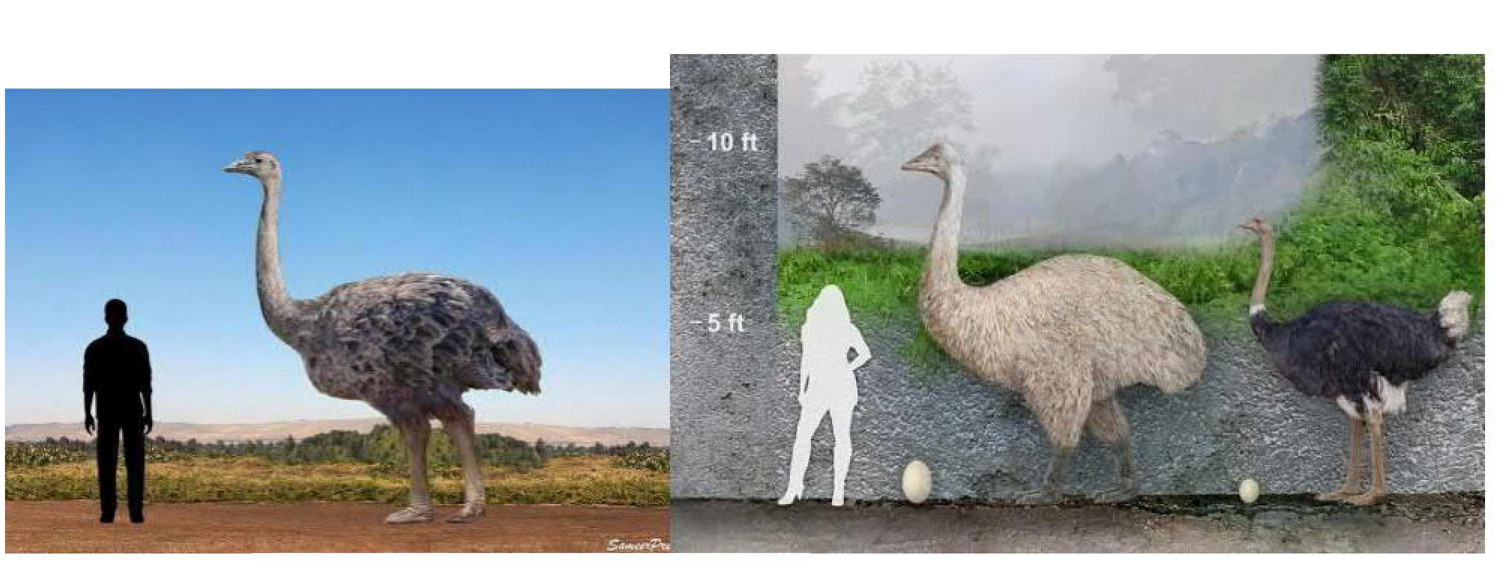
أنها مسطَّحات الصدر ratites (الصورة ١٣– ٢٣). وصلت طيور المُوا moas النيوزيلندية المنقرضة إلى طول يفوق الثلاثة أمتار. كان يعيش Aepyornis [الطائر الفيلي المدغشقري أو الضخم العالي القامة حيث معنى αἰπύς أو aipús أي عالٍ] حتى زمن قريبٍ للغاية لدرجة أن بيضه لا يزال يُعثَر عليه على الأرض في العراء. بيضه غير قابل للالتباس أو عدم تمييزه لأنه كان بسعة ١١ لترًا (جالونين). بالتأكيد رأى التجار المسلمون المبكرون على طول الساحل الأفريقي ذلك البيض، وربما رأوا حتى طيورًا فيلية حية في مدغشقر، وهو ما أنشأ القصص الشعبية عن طائر الرخ المرعب الذي افترس الأفيال كغذاء وحمل سندباد البحَّار على ظهره (الصورة١٣– ٢٤ ب) ولو أن الطيور الفيلية المدغشقية لم تكن تطير. إن Aepyornis [الطير الفيلي الضخم] و Dromornis [الطير الراكض] وهو طير أسترالي ضخم منقرض (انظر الفصلين ١٨ و ٢١) هما متنافسان ندَّان متقاربان على لقب أثقل طير مما قد تطور على الإطلاق على مر تاريخ الأرض. تساند موسوعةُ جينِس للأرقام والسجلات القياسية القصوى حاليًّا Dromornis [الطير الراكض]، والذي كان قوي البُنْيَة وَوَزَنَ حوالي ٥٠٠ كجم (١١٠٠ رطل).



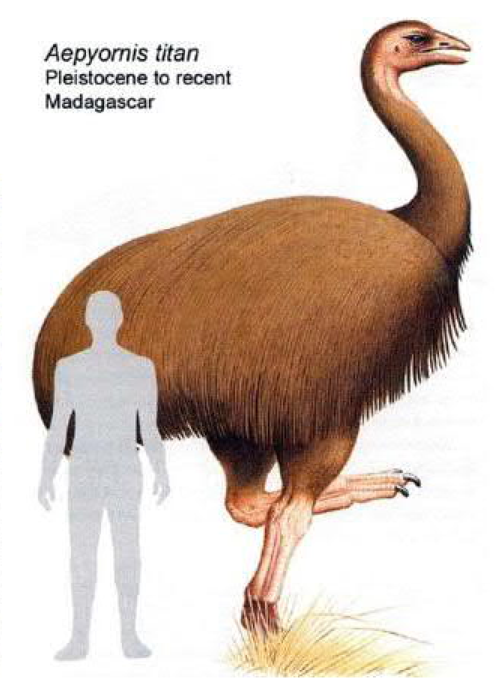




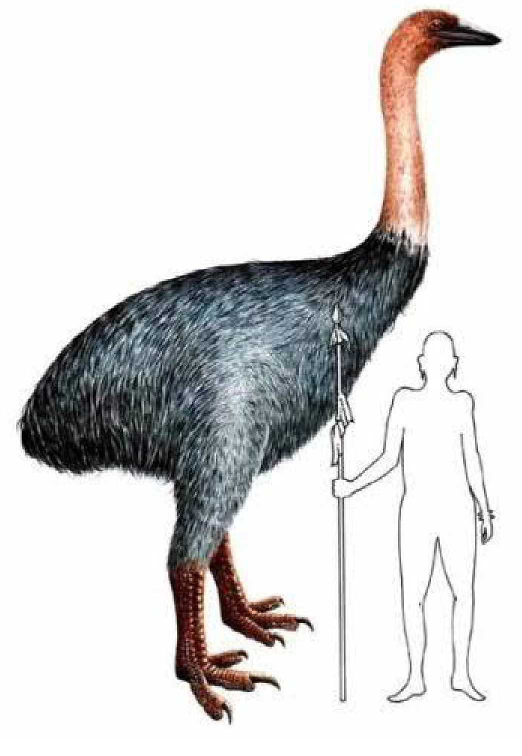




10 ft
5 ft



Aepyornis titan
Pleistocene to recent
Madagascar





Four species are usually accepted in the genus Aepyornis today; A. hildebrandti, A. gracilis, A. medius and A. maximus





متحجرات وإعادات بناء لـ Aepyornis [الطير الفيلي الضخم]



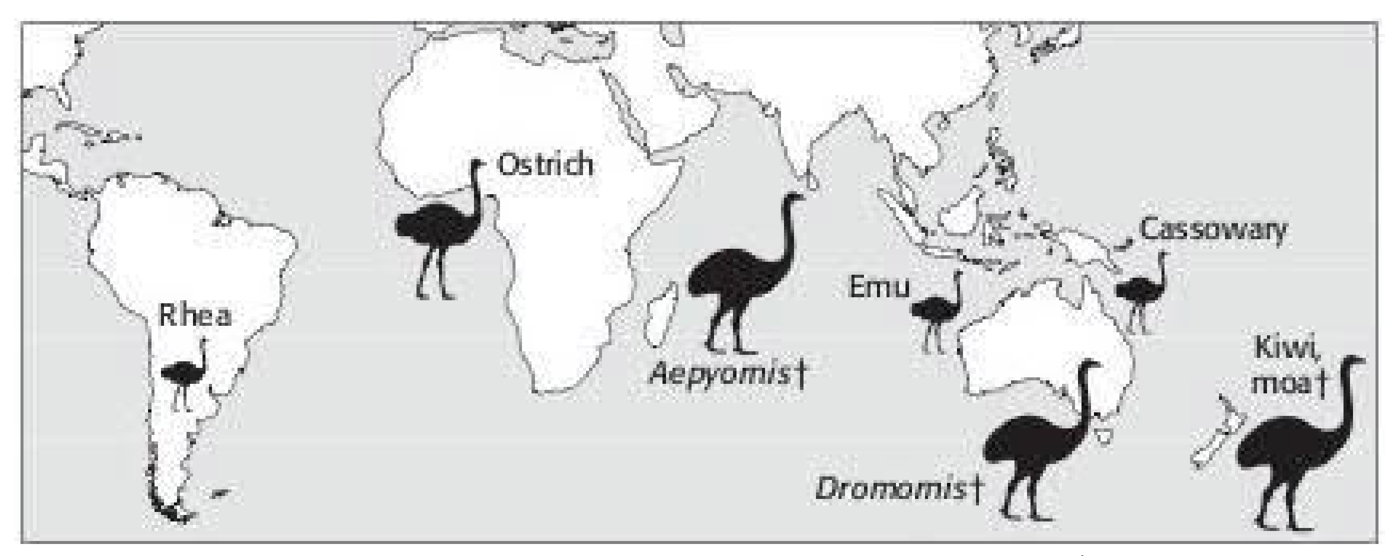




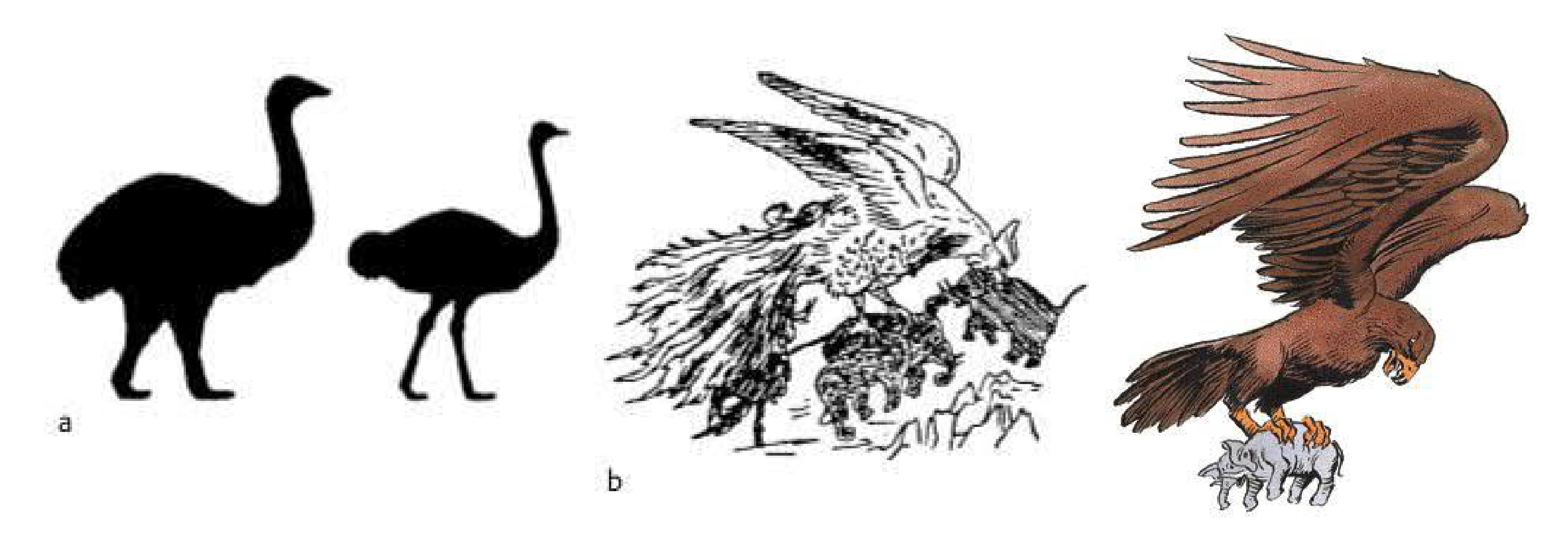


متحجرات لـ Dromornis petertrusler و Dromornis stirtoni، ومعنى Dromornis الطير الراكض

مقارنة حجم Dromornis مع حجم الإنسان وحجم الجمل الصومالي الذين يزن ٥٠٠ إلى ٦٠٠ كجم



الصورة ١٣– ٢٣ خريطة توزع بعض أنواع مسطحات الصدر الحية والمنقرضة المعروفة من المتحجرات (علامة الصليب تشير إلى الانقراض).

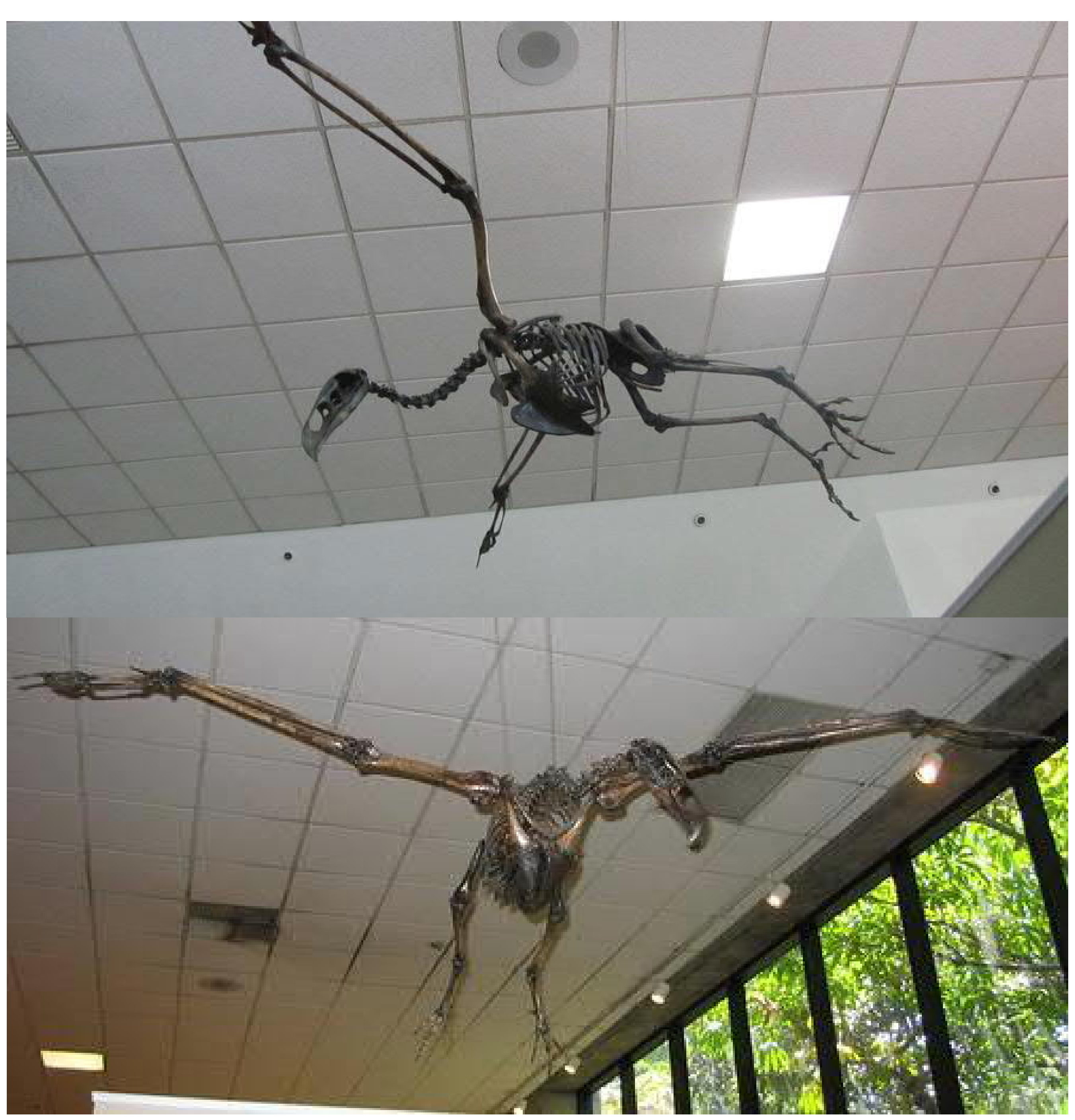


الرسم ١٣– ٢٤ (أ) Aepyornis الطير الفيلي المدغشقري الذي انقرض منذ بضع مئات قلائل من السنوات فقط، وبجواره نعامة لمقارنة الحجم. و(ب) رسم للمخلوق الخرافي الرخ، وهو الطائر الخرافي أو السيمرغ (هو أحد الطير الخرافية الذي يكثر ذكرها في الأساطير الآرية الدينية وفي الشاهنامة الفارسية) الخاص بالأساطير العربية والفارسية، والذي تزعم الخرافات أنه كان يحمل ثلاثة أفيال في المرة الواحدة. ربما قامت أسطورة الرخ على رؤية التجار العرب أثناء زيارتهم لشرق أفريقيا للطيور الفيلية الضخمة النادرة المتبقية فأوحت لهم بخرافة الرخ.

أكبر الطيور الطائرة حجمًا

أكبر الطيور الطائرة المكتشَفة [كمتحجراتٍ] حتى الآن هي طيور الـ teratorns [الطيور الوحشية أو الوحوش، نوع منقرض من الطيور العملاقة المفترِسة، وهي من رتبة القمقاميات Cathartiformes التي تضم نسور العالم الجديد والطيور الوحشية الضخمة Teratornithidae أو teratorns المنقرضة]، وهي طيور ضخمة منقرضة عاشت بأمِركا الجنوبية، ووصلت إلى أمِركا الشمالية أثناء عصر البلَيستوين Pleistocene (الحديث اللاحق، من حوالي مليوني سنة إلى عشرة آلاف سنة ماضية). لقد عُثِر على مئات عينات المتحجرات في حفر قطران لا برْيا tar pits of La Brea في لوس أنْجِلْسْ، وفي كاليفورنيا (الصورة ١٣– ٢٥)، وفي فلورِدا والمكسيك. لكنَّ أكبر نوع من الطيور الوحشية كان Argentavis [الطائر الأرجنتيني العملاق من فصيلة الطيور الوحشية] من الأرجنتين من عصر المَيُوسين المتأخر، فقد كان عرض جناحيه المفرودين 5 ,7 متر (٢٤ قدمًا). للمقارنة، فإن أكبر الطيور الحية المعاصرة حجمًا هو القطرس الملكي، يتعدى عرض جناحيه المنبسطين الثلاثة أمتار بقليل.





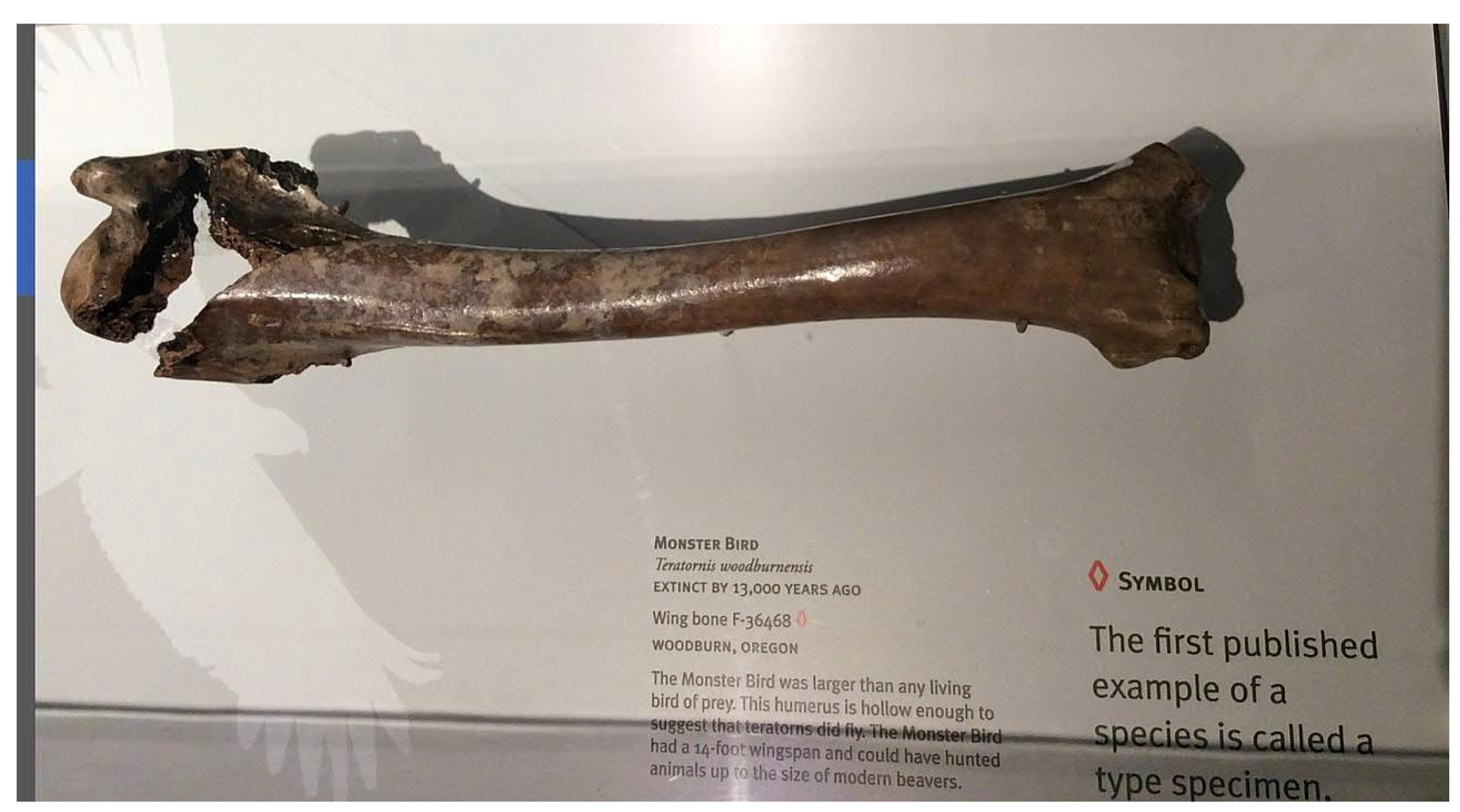
الصورة ١٣– ٢٥ Teratornis merriami الطائر الوحشي من عصر البليستوسين، متحجرة من حفر قطران La Brea في لوس أَنْجِلُسْ. حفظ المتحجرة جيد للغاية لدرجة أن عرض الجناحين يمكن قياسه بدقة وهو قرابة الأربعة أمتار (١٣ قدمًا). هذا حجم ضخم بالنسبة لطير، ولو أنه ليس كذلك بالنسبة للزواحف الطائرة [التيروسورات]، قارن مع الصورة ١٣– ١٤ الخاصة بأحجام أكبر التيروسورات.







بعض متحجرات Teratornis [نوع منقرض من الطيور العملاقة المفترِسة teratorns، ومعنى الاسم: الطائر الوحش]



متحجرة لعظم عضد Teratorn woodburnensis

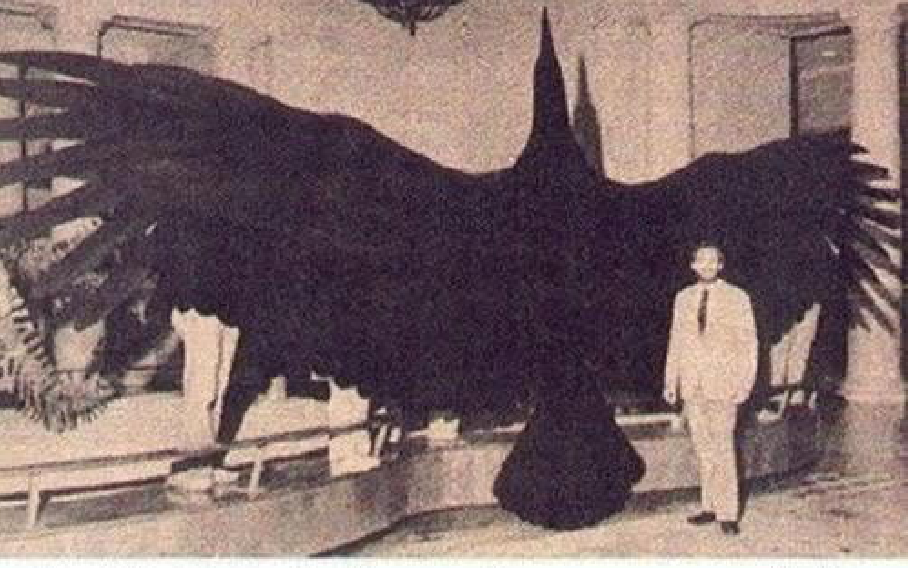
يوحي منقار Argentavis [الطائر الأرجنتيني الوحش الضخم] بأنه كان مفترِسًا، وليس متقمِّمًا على الجثث. لقد طارد الفرائس التي على الأرض على الأرجح. وكان ذا جمجمة بطول ٥٥ سم وعرض ١٥ سم، وكان يستطيع ابتلاع حيوان فريسة قطره ١٥ سم. تترافق متحجرات عظامه مع متحجرات فقاريات أخرى، ٦٤% منها خاصة بالـ Paedotherium الذي كان ثدييًا ضئيل الحجم بحجم الأرنب البري الأمِركي (بعبارة أخرى: يسهل على Argentavis الطائر الأرجنتيني الوحش ابتلاعَه).



متحجرة Argentavis [الطائر الأرجنتيني الوحش الضخم]

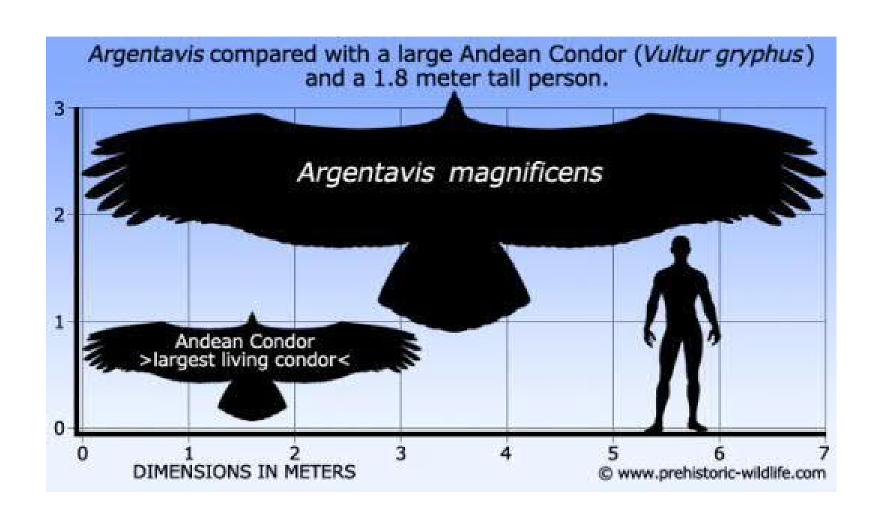






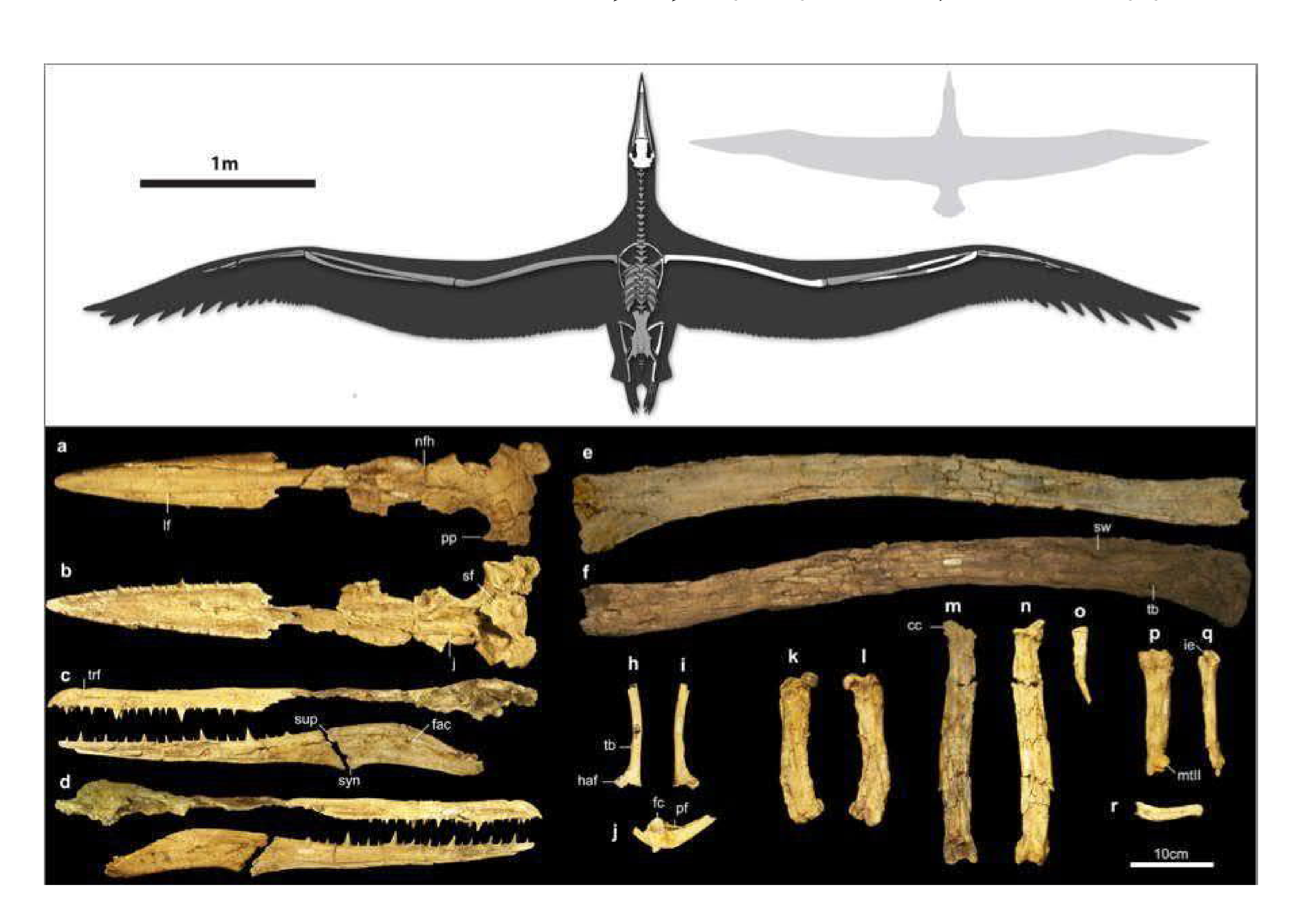
Dr. K. Campbell standing next to a full sized replica of Argentavis, the largest flying bird ever discovered.





إعادات بناء لـ Argentavis [الطائر الأرجنتيني الوحش الضخم]

في نفس متوسط الأحجام الخاصة بالطيور الوحشية الضخمة teratorns، كانت طيور pelagornithids [يعني اسمها الطيور البحرية، وهو غير مميز كاسم علمي، ويعتبره علماءٌ من أقل التسميات إبداعًا، وهي الطيور ذوات الزوائد الشبيهة بالأسنان على حواف مناقيرها، والتي لم تكن أسنانًا حقيقية، بل أجزاء نامية من عظام قادمة الفك العلوي والفك السفلي. وتُسمَّى كذلك بذوات الأسنان الزائفة أو الأسنان العظمية pelagornithids, pseudodontorns, bony-toothed birds, false-toothed birds or pseudotooth birds. كان أصغر أنواعها بحجم القطرس وأكبر أنواعها بعرض جناحين ٥ إلى ٦ أمتار]، وهي طيور بحرية ضخمة لا بد أنها قضت معظم حيواتها محلِّقةً فوق الماء. لقد انتشرت على مستوى العالم منذ عصر الإيوسين حتى أواخر عصر المَيُوسين. لقد كانت خفيفة البنية، لكن عرض جناحيها كان قرابة الستة أمتار (قرابة ٢٠ قدمًا) في أكبر العينات حجمًا. كانت مناقيرها طويلة جدًّا، بها بروزات شبيه بالأسنان على حوافها، ربما لمساعدتها على الإمساك بالفرائس المتملِّصة المتفلّتة. لقد كانت pelagornithids [ذوات الأسنان الزائفة أو البروزات العظمية الشبيهة بالأسنان] هي النظائر الإيكولُجية للبتيروسورات pterosaurs [الزواحف المجنحة الإصبع الرابع المستطال]، وسيكون الأمر رائعًا فاتنًا عندما تمكِّننا أبحاث أخرى أكثر من إعادة إنشاء أسلوب حيواتها بدقة.



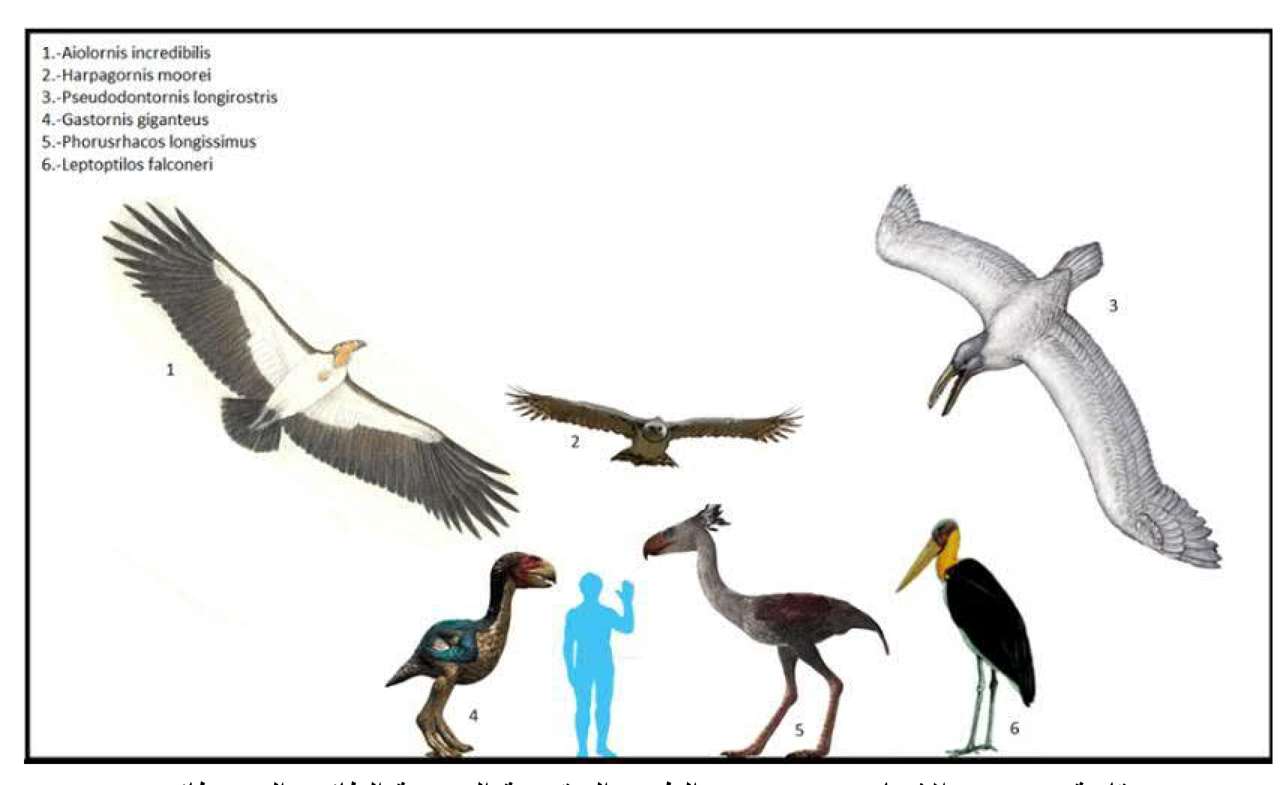
Pelagornis sandersi لطائر البحري العملاق السانْدِرْسِيّ، من ذوات الأسنان الزائفة أو العظمية. سُمِيَ باسم النوع المذكور تكريمًا لـ Albert Sanders أمين متحف تشارلستون Charleston Museum المتقاعد، والذي قاد التنقيب عن متحجرته. يتراوح تقدير عرض جناحيه المبسوطين ما بين 1 ,6 إلى 4 ,7 متر، وهو بذلك من أضخم الطيور الطائرة من بين كل ما قد تطور على الإطلاق على مر الزمان.



الطائر البحري ذو الأسنان الزائفة التشيلي Pelagornis chilensis



الطائر البحري ذو الأسنان الزائفة المغربي Pelagornis mauretanicus



مقارنة بين حجم الإنسان وحجم بعض الطيور المنقرضة الضخمة الطائرة والغير طائرة

الخفافيش

حدث آخر تطور للطيران المرفرف في الفقاريات في الخفافيش [الوطاويط]. في كل الخفافيش يكون الجناح مشدودًا بين الذراع والجسد والرجل، مع كون أصابع اليد ممتدة على شكل مروحة باتجاه طرف الجناح (الصورة ١٣– ٦). غشاء الجناح ضعيف القوة في حد ذاته، لكنه مَرِنٌ قابل للتمدد، وينبغي الإبقاء على شده بالعضلات والأربطة. تُستعمَل الرجل الخلفية كمثبِّت للحافة الخلفية للغشاء، مما يعني أن الطرف ليس حرًّا ليقوم بمشي وجري فعّال. لذلك تُضطَر الخفافيش إلى عادات غير معتادة، تتضمن البياتَ في أماكن متعذِّر بلوغها حيث يتعلقون في وضعٍ مقلوب رأسًا على عقب. ولأن الخفافيش ثدييات مشيمية فقد تطور فيها تكيفات خصوصية للاستمرار في الطيران أثناء الحمل والإرضاع. كمثال، فإن للحوض سماتٍ تمكِّن الجسدَ من أن يكون انسيابيًّا ومع ذلك لا يزال لديه قناة ولادة كبيرة حقًّا. للخفافيش الرضيعة أسنان لبنية حادّة كالإبر تمكنها من التعلق بفرو أمهاتها بإحكام في أثناء الطيران (مما يسبب ألمًا للأم أثناء الإرضاع!).

إن أقدم خفاش معروف _وهو Icaronycteris [يعني اسمه إيكاروس الطائر ليلًا أو الوطواط إيكاروس نسبة للشخصية الأسطورية الجريكية]_ هو متحجرة محفوظة على نحوٍ جيدٍ من طُبَيْقات بُحيرية من عصر الإيوسين المبكر [أبكر فترة من دهر الحياة الحديثة] في Wyoming (الصورة ١٣– ٢٦). لقد تكشفت صخور عصر الإيوسين الوسيط الخاصة بمنطقة طفل الطين الصفحي لحفرة أو منجم ميسيل Messel Oil Shale في جرمانيا عن دستات من الهياكل العظمية للخفافيش [حفرة ميسيل (بالألمانية: Grube Messel) هي منجم قديم مستنفَد في منطقة ميسيل بالقرب من مدينة دارمشتات بجرمانيا [ألمانيا]، كان يستغل في استخراج سجيل زيتي من سطح الأرض ، وعثر في الحفرة على أحفورات حيوانات عاشت قبل نحو ٤٠ مليون سنة. ونظرًا للحالة الجيدة لتلك الأحافير التي وجدت فيها وهي من عصر الإيوسين فقد قيدتها هيئة اليونسكو كموقع للتراث العالمي]. احتوى بعضها على آخر وجبات الخفافيش (وهي عثٌّ بدائي). حتى أصغر عظام الأذن محفوظة، وهي تُعْلِمنا أن تلك الخفافيش كانت مُعَدَّةً مع السونار المُحدِّد للصدى الذي تمتلكه كلُّ الخفافيش الصائدة للحشرات والصائدة للأسماك والآكلة للضفادع في العصر الحالي. لقد كان لدى رُضَّع الخفافيش في منطقة طفل الطين الصفحي لمنجم ميسيل Messel Oil Shale فعليًّا أسنان لبنية حادّة.

الرأي الحالي هو أن الخفافيش تطور فيها الطيرانُ على الأشجار، من خلال مرحلة القفز المِظَلّيّ، رغم أنه لا دليل على ذلك على الإطلاق من خلال أسلافٍ للخفافيش، لأننا لم نتعرف عليها. يُحْتَمَل أن سونار الخفاش (موجاته الصوتية) تطور من السمع الحادّ لثديياتٍ ضئيلة الحجم ليلية صائدة للحشرات في المظلات الشجرية الخاصة بغابات العصر الطباشيري. فقد فقدت خفافيش الفاكهة السونار الخاص بها. على نحو واضح، فلا بد أن الخفافيش لها فعلًا تاريخٌ تطوري زاخر بالأحداث قبل عصر الإيوسين، لكننا لا يزال علينا العثور على تلك المتحجرات.



الصورة ١٣– ٢٦ أبكر متحجرة معروفة لخفاش، وهو Icaronycteris خفاش إيكاروس من عصر الإيوسين المبكر في Wyoming. تظهر المتحجرة هنا مع حد خارجي تظليلي للجناحين حسب تصور إعادة بنائه.

from Novacek, 1988



Icaronycteris خفاش إيكاروس من عصر الإيوسين المبكر [ثاني عصور دهر الحياة الحديثة، فجر الحديث].

الفصل الرابع عشر

تجديد أشكال الحياة في البر والبحر

عند نهاية العصر البرمي، كانت بيولُجية العالم قد انتُقِصَت. إن دهر الحياة الوسيطة كان الزمن (أو الدهر) الذي ليس فحسْبَ أعيد فيه إنشاء البيولُجيّة كأشكال حياة حيوانية ونباتية متنوعة، بل واكتسب الكثير من سمات العالَم الحديث. لو كان هناك غواص بمعدة تنفس تحت الماء غاص في بحار العصر البِرْمي لما كان سيرى الكثير من المخلوقات المألوفة، حتى لو كانت تلعب أدوارًا إيكولُجيّة مألوفة. على النقيض، فإن غواصًا بمعدة تنفس تحت الماء في العصر الطباشيري المتأخر كان سيجد عالَمًا مالوفًا له أكثرَ بكثيرٍ.

سننظر في هذا الفصل إلى بعض الكائنات المُتَعَضِّية البحرية والبرية التي تُظْهِر هذا التغيرَ الكبير. سأركِّز على المفترِسات العليا [المعتلية لقمة الهرم الغذائي] الخاصة بمحيطات دهر الحياة الوسيطة، وخصوصًا وفي المقام الأول الزواحف البحرية، وعلى البر سأركِّز على المحرك [أو العامل الرئيسي] الذي أدَّى إلى هذا التغير؛ وهو الانتقال من حياة نباتية تهيمن عليها الصنوبريات إلى حياة نباتية تهيمن عليها النباتات وعائية البذور [نباتات تُنتِج أزهارًا وتتكاثر ببذور مغلفة داخل الكربَلَة أو الخباء وهو وحدة عضو التأنيث في الزهرة] التي أعطَتْ ليس فقط بنيةً مختلفةً للأنظمة الإيكولُجيّة [الاعتياشية] البرية، بل وملأتها بزهور جميلة وروائح عَطِرة شَذِيَّة.

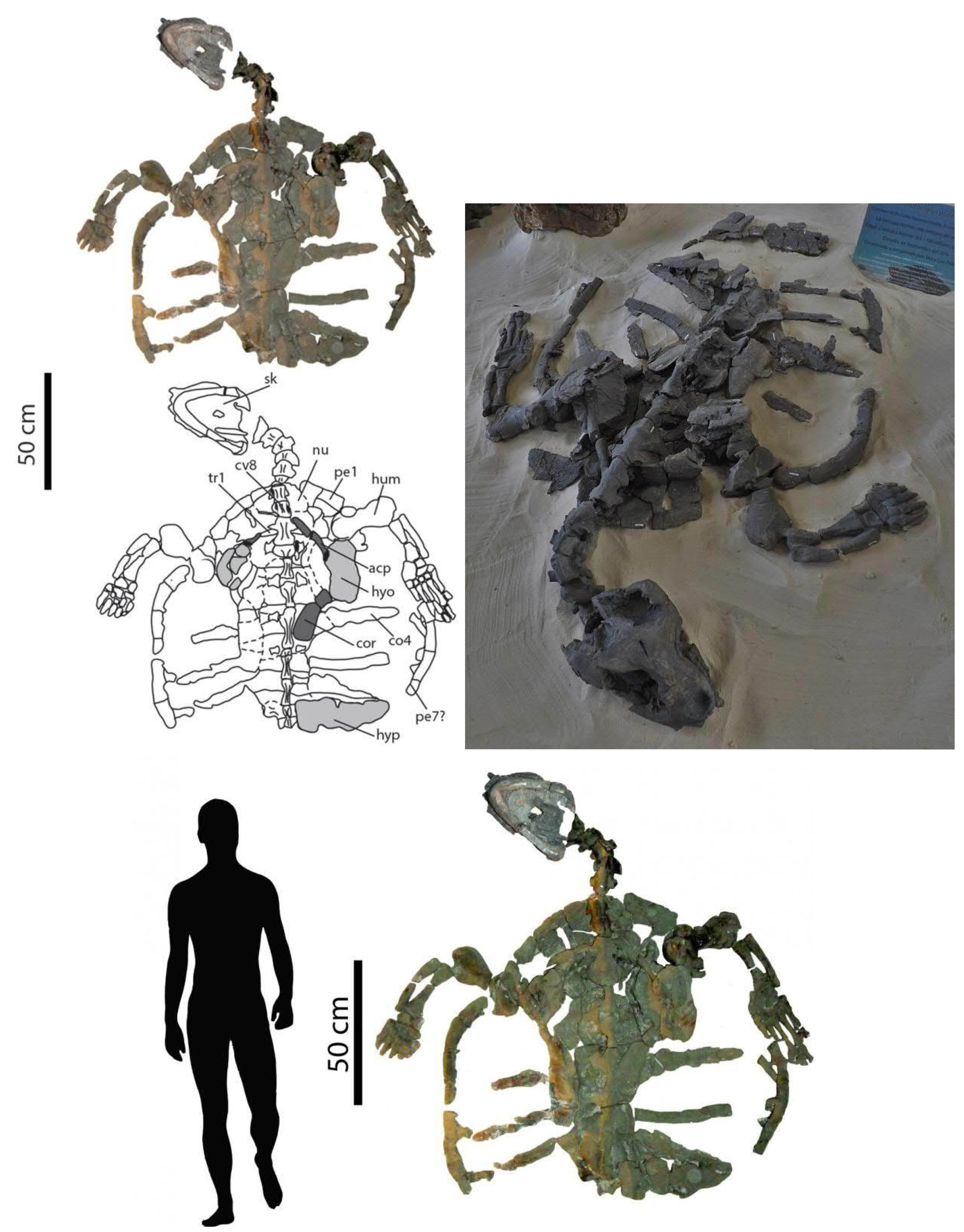
الأنظمة البيئية الإيكولُجيّة للمحيطات في حقبة دهر الحياة الوسطى

كان بمحيطات دهر الحياة القديمة Paleozoic أسماك والتي لا بد أنها استغلت المصادر الغذائية التي لم تُحفَظ على نحو جيد في سجل المتحجرات؛ وهي عوالق أسطح المحيطات. لكن تلك الأسماك الخاصة بدهر الحياة القديمة لم تكن وافرةً ولا متنوعة. فكانت الأسماك لحمية الزعانف في انحدار بعدما غزا بعضها البرَّ، وليست الأسماك الشعاعية الزعانف وافرة ولا واضحة في المتحجرات في معظم مجموعات الحيوانات البحرية من صخور دهر الحياة القديمة. بدلًا من ذلك، كانت المفترِسات الأكبر في المياه المفتوحة هي خطوط تحدر تطوري عديدة من رأسيّات الأرجل والأمونيَّات [القواقع اللولبية] التي كانت على نحو جوهري حيوانات حبّار ذوات صَدَفةٍ. لقد كانت بطيئة الحركة ثقيلتها نسبيًّا.

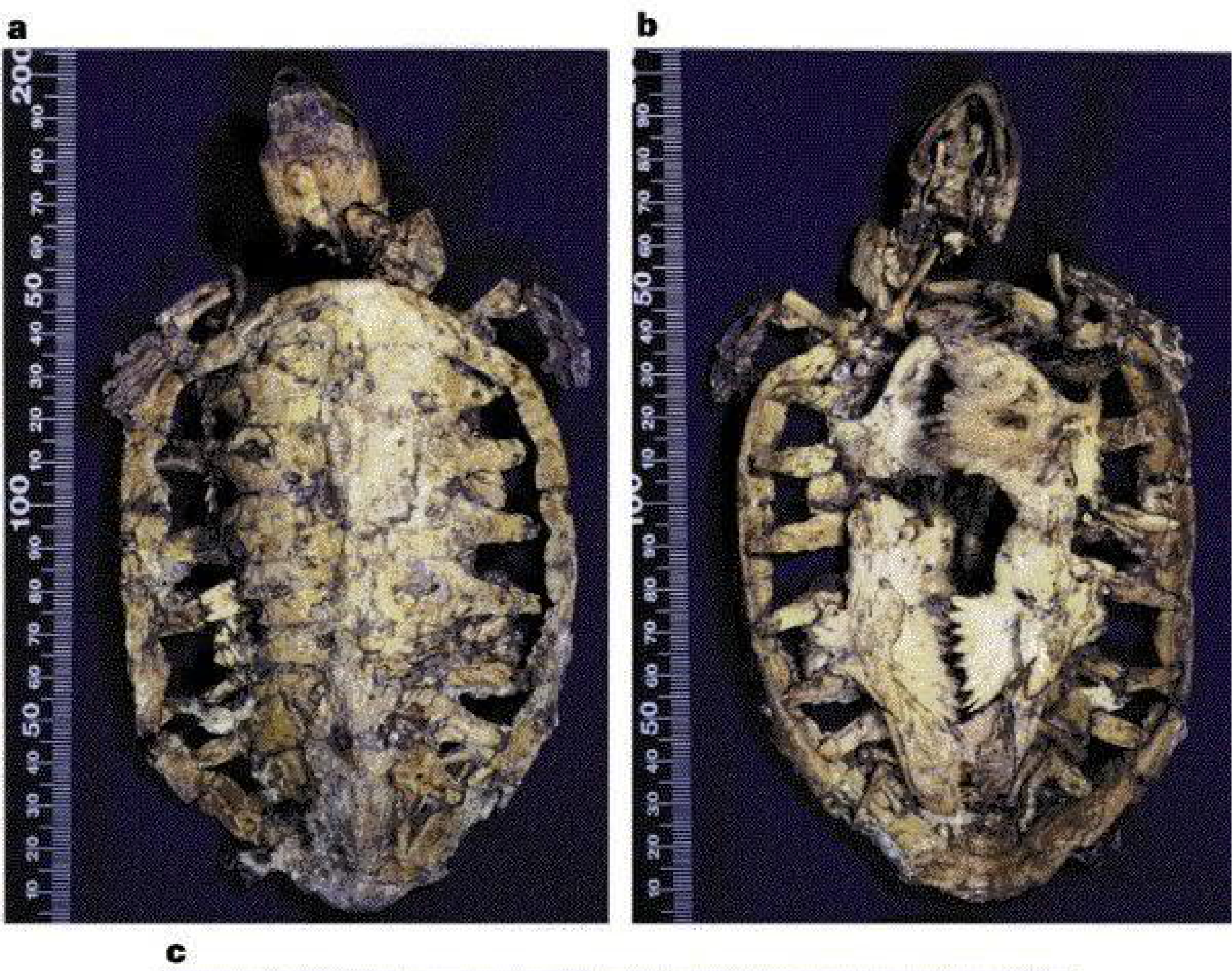
لكنْ بعد انقراض الحد البرمي- الترياسي، صارت الأسماكُ المفترِساتِ المتوسطةَ الأحجام الخاصة بالمحيطات. كانت الأمونيّات [من رأسيات الأرجل] لا تزال وفيرة، لكن الإضافات الرئيسية الكبيرة للمحيطات العالَميّة من جهة المفترِسات الكبيرة الأحجام لم تكن أسماكًا، بل آكلاتِ أسماكٍ، وهيمنت عليها الزواحف البحرية. هذا يدل (حسبما أرى) على أن محيطات دهر الحياة الوسيطة كانت مُنْتِجةً على نحو كافٍ لأن تحتفظ [أو تتحمَّل أو تغذِّي] بمستوى من المفترِسات الكبيرة التي لم تكن يمكن أن تنجح في محيطات دهر الحياة القديمة. قد يجادل المرء بصدد السبب الأساسي. وصول المواد الغذائية الإضافية إلى المحيطات عندما استعمرت النباتات أسطحًا بريّةً أكثرَ هو أحدُ العمليات المحتمَلة، والتي تُدعى بـ "فرضية غذاء البحر" (راجع الفصل ٦). أيٌّ ما كان السبب، فإن الأنظمة الإيكولُجيّة الخاصة بدهر الحياة الوسيطة تختلف على نحوٍ درامي [كبير ومفاجئ] عن الأنظمة الإيكولُجيّة الخاصة بدهر الحياة القديمة لأن الحيوانات الكبيرة أحجام الأجساد على اليابسة (الديناصورات [أو العظاءات الضخمة المرعبة]) وفي الهواء (الزواحف المجنحة الإصبع أو التيروسورات pterosaurs) كان لهم نظرائهم المحيطيون متمثلين في الزواحف البحرية الضخمة. تطورت معظم تلك المجموعات الخاصة بالزواحف في العصر الترياسي، لكنها وصلت إلى أعظم وفرة عددية لها في العصرين الجوارسي والطباشيري. لقد طورت فروعٌ تطوريةٌ عديدة مختلفة من الزواحف تكيفاتٍ رائعةً للحياة في البحر.

السلاحف

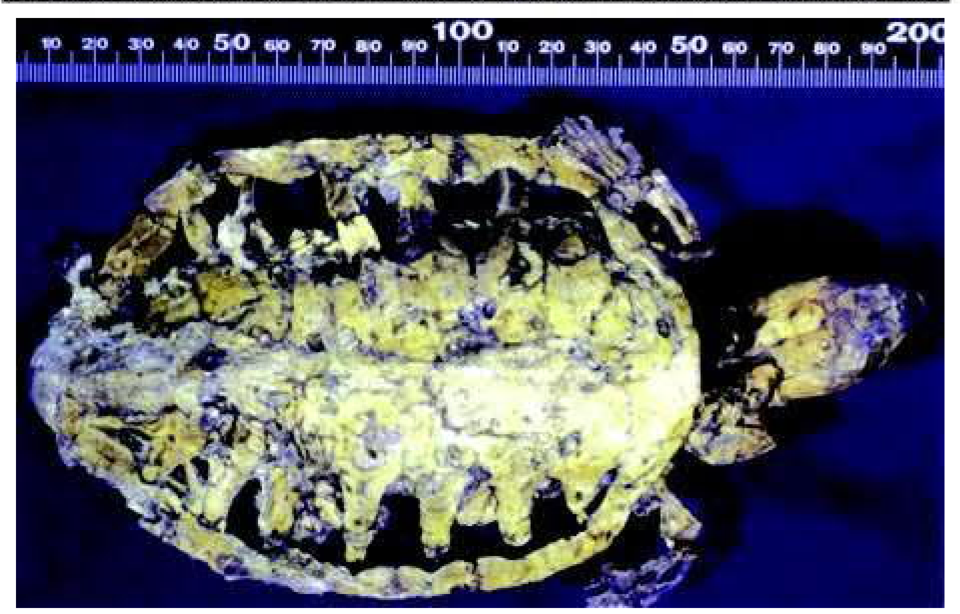
لقد علمنا من قبل أن السلاحف في أصولها من ذوات الثقبين الصدغيين diapsids، رغم أنه ما إذا كانت في التصنيف من ذوات الثقبين الصدغيين القاعدية أو المنبتية [المتفرعة من عند منبت فرع تطور ذلك التصنيف] أم من ذوات صفات الزواحف الحاكمة القاعدية (راجع الفصل ١١). إن أقدم سلحفاة معروفة على نحو جيد هي من صخور العصر الترياسي المتأخر في أوربا، وقد كان لها فعليًّا صفائح عظمية على سطحها، رغم أنها لم تكن قد حققت بعدُ الحيلة التطورية الخاصة بالسلاحف في جعل اللوحين الكتفيين بداخل الضلوع.

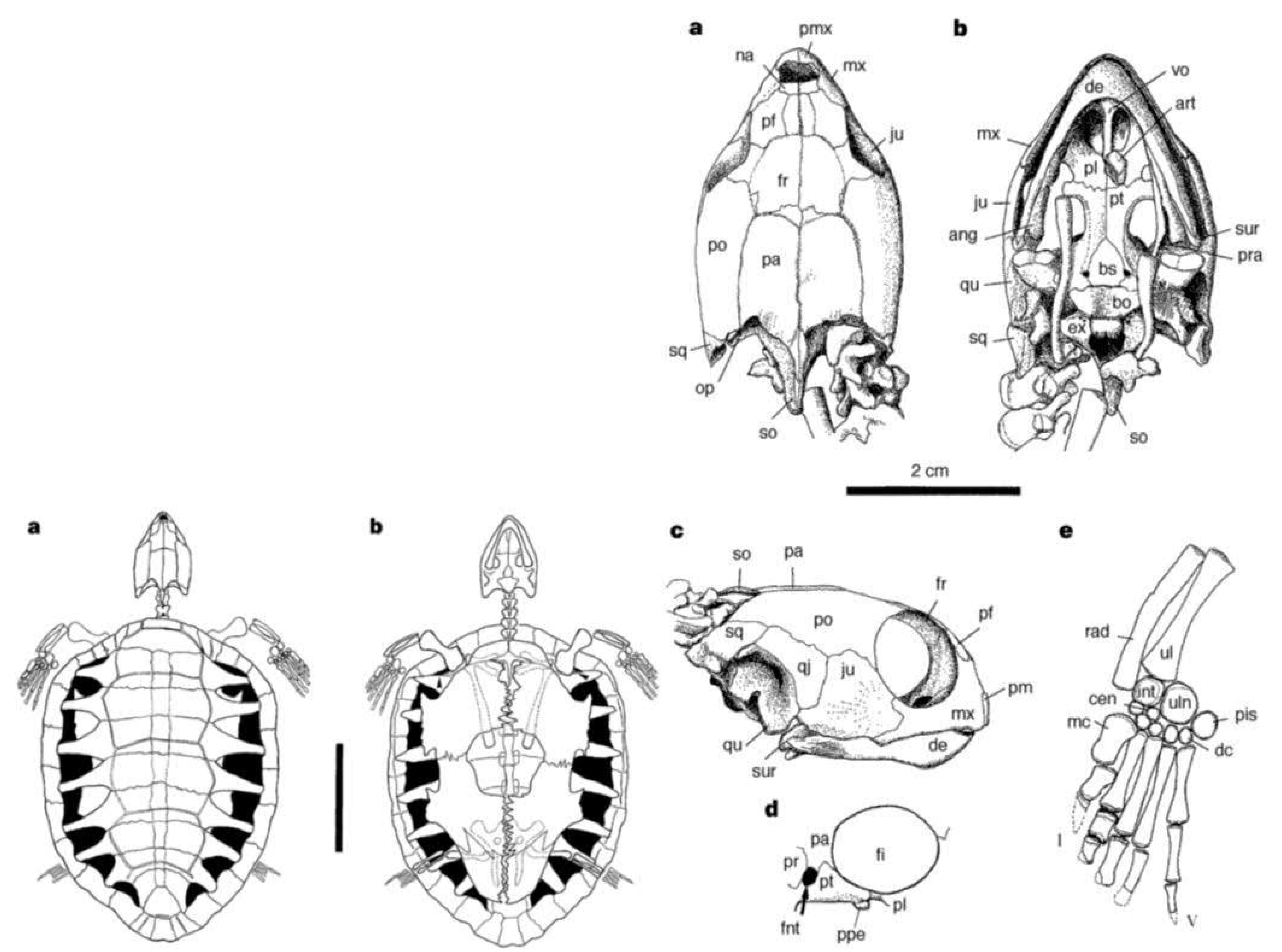


Desmatochelys padillai أقدم سلحفاةبحرية (ترسة) معروفة في العالم، يلاحظ وجود أصابع متميزة منفصلة غير مدموجة إلى زعنفة بها، عمر المتحجرة ١٢٠ مليون عام ماضٍ. اكتُشِفَت في وادي Villa de Leyva في كولومبيا.


a
b

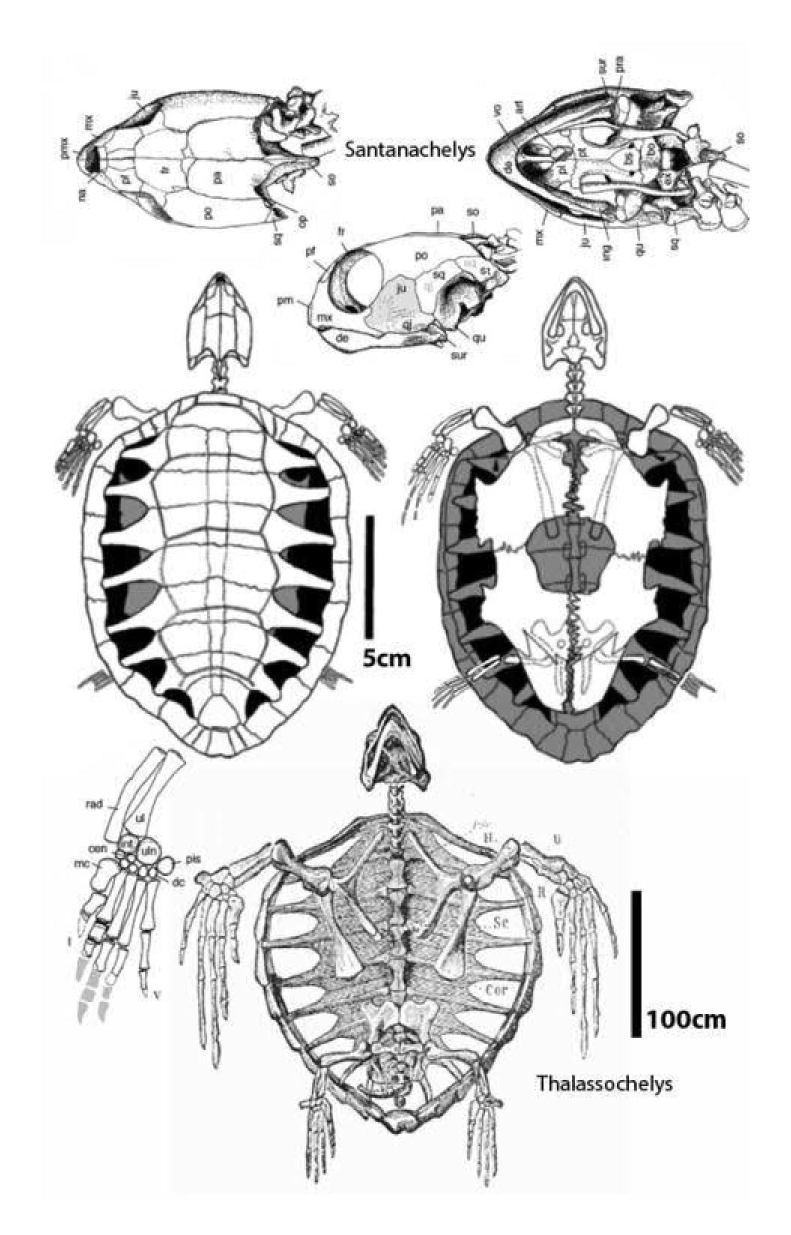

c



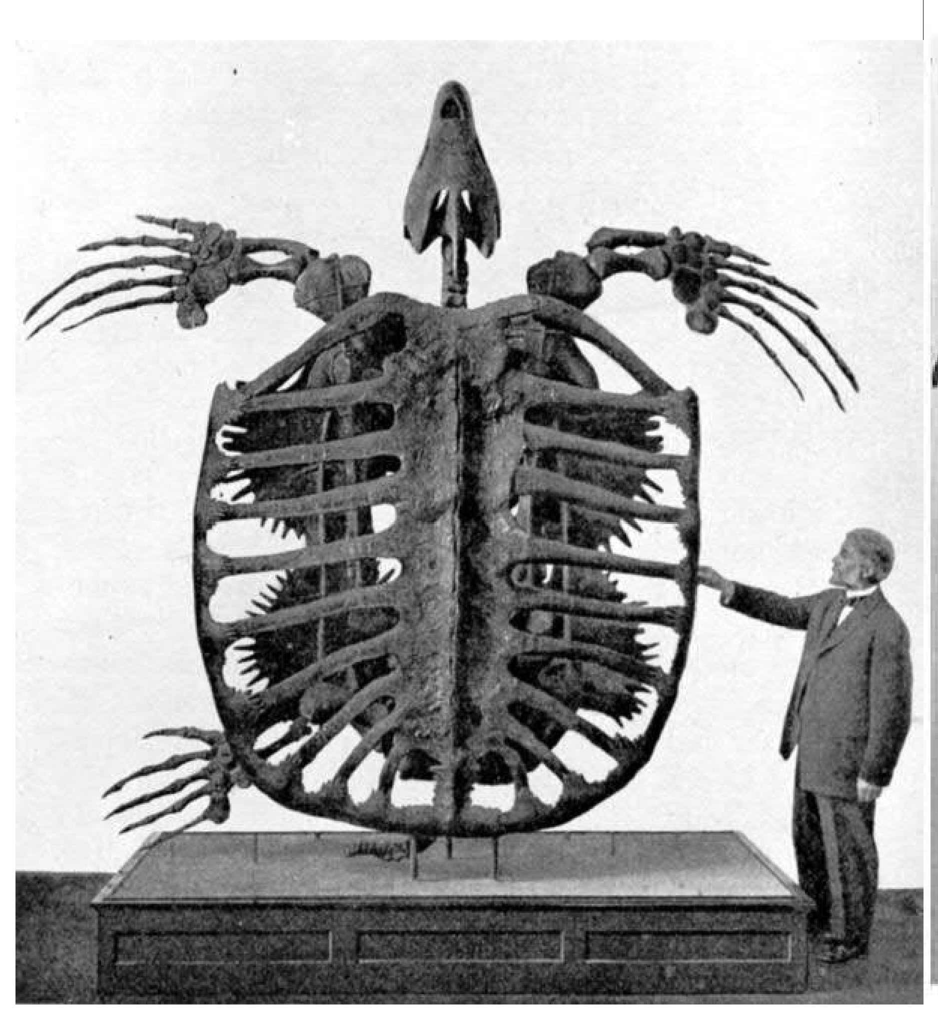


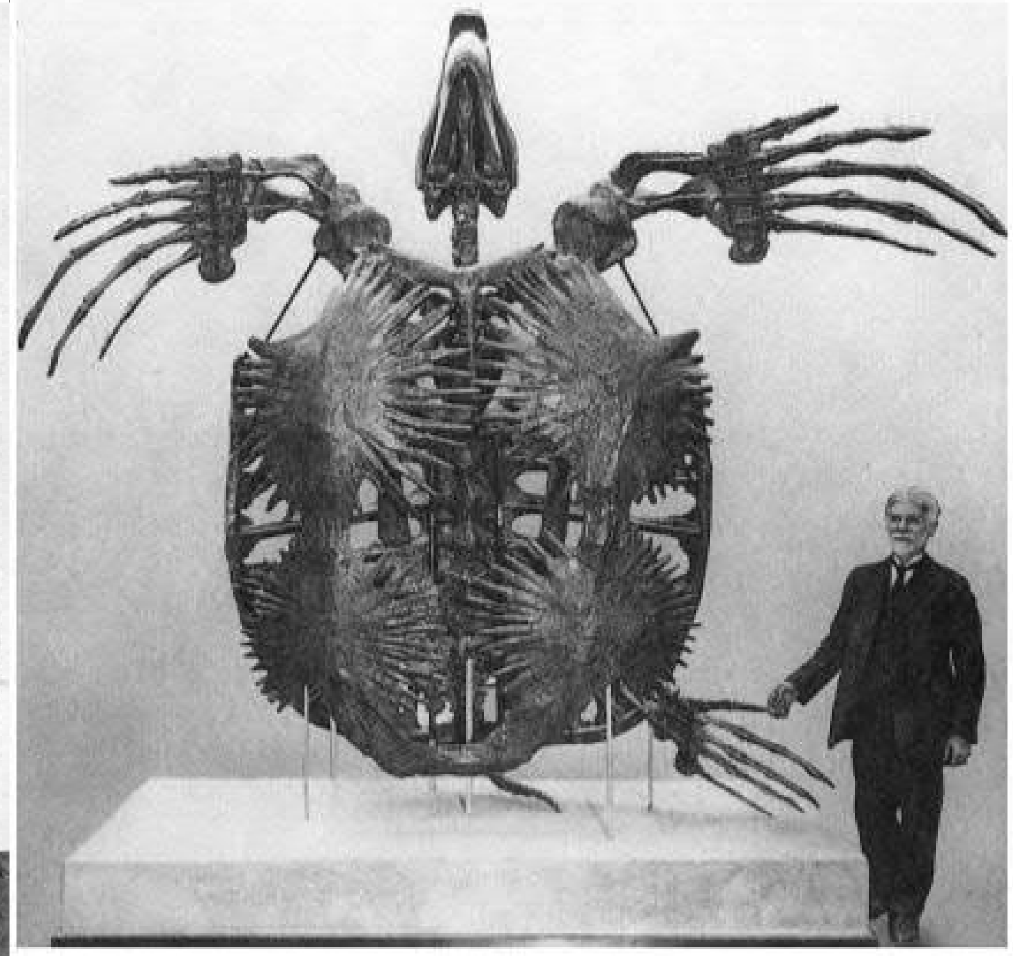
Santanachelys gaffneyi (THUg1386).The skull in (a) dorsal, (b) ventral and (c) right lateral views is shown, as is (d) the right ethmoid region of the skull. e, Left forelimb, dorsal view. Abbreviations: ang, angular; art, articular; bo, basioccipital; bs, basisphenoid; cen, centrale; dc, distal-carpal; de, dentary; ex, exoccipital; fi, foramen interorbitale; fr, frontal; fnt, foramen nervi trigemini; int, intermedium; ju, jugal; mc, metacarpal; mx, maxilla; na, nasal; op, opisthotic; pa, parietal; pf, prefrontal; pis, pisiform; pl, palatine; pmx, premaxilla; po, postorbital; ppe, processus pterygoideus externus; pr, pro-otic; pra, prearticular; pt, pterygoid; qj, quadrato–jugal; qu, quatrate; rad, radius; so, supraoccipital; sq, squamosal; sur, surangular; ul, ulna; uln, ulnare; vo, vomer.

Santanachelys gaffneyi [سلحفاة تكوين سانتانا الصخري الجافينية واسم نوعها تكريمًا لـ Eugene S. Gaffney الذي كان عالم متحجرات تخصص في الأشجار النسبية التطورية للسلحفيات]. هي ثاني أقدم متحجرة لسلحفاة بحرية في العالم بعمر ١٢٠ مليون سنة، من جنس السلاحف الأولية البدائية Protostegidae المنقرضة. وقد وصفت لأول مرة عام ١٩٩٨ من عينة طولها ٢٠ سم اكتشفت في تكوين سانتانا الصخري شرقي البرازيل، ومن خلال طبقة الصخر التي وُجِدتْ بها فقد قُرِّر أنها من العصر الطباشيري المبكر (منذ ١١٢ مليون عام). ولقد اتسمت بوجود أصابع متحركة واضحة في طرفيها الأماميين، بدلا من الزعنفة المدموجة بالكامل الهيدروديناميكية أي المائية الحركية التي لدى السلاحف البحرية الحديثة، وكانت أصابعها مماثلة للخاصة بالسلاحف الغير بحرية. رغم ذلك، فكالسلاحف البحرية اللاحقة (الترس) فقد كان لها غدد ملحية كبيرة متموضعة قرب العينين، والتي ساعدت على إخراج الملح الزائد. فهذا كان تكيفًا للبيئة البحرية عالية الملوحة.

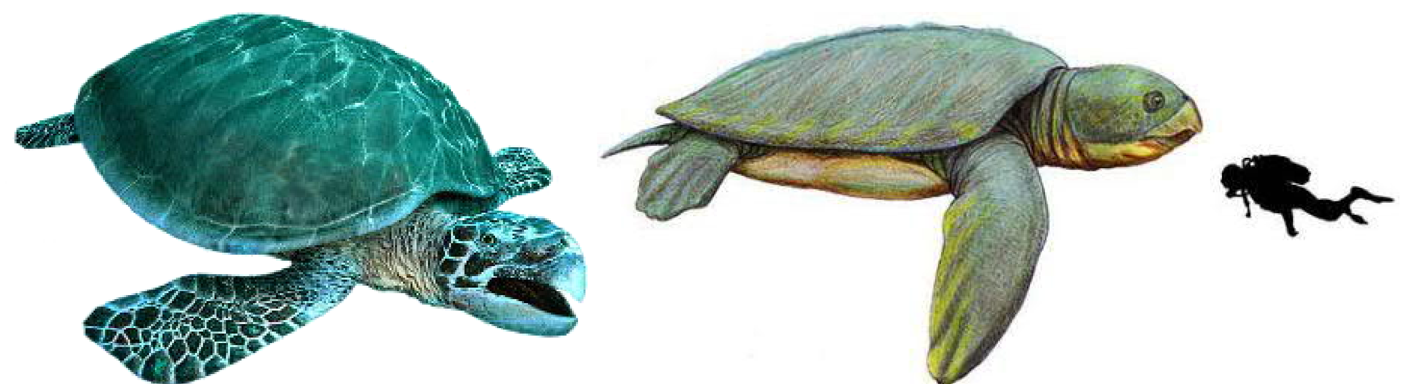


كانت السلاحف منتشرة على مستوى العالم وناجحة في بحار ومصبات أنهار العصرين الجوارسي والطباشيري. ربما يكون أشهرها هو السلحفاة الضخمة Archelon [يعني اسمها السلحفاة الحاكمة أو الضخمة] من العصر الطباشيري، والتي كان طولها ٣ أمتار وعرض زعنفتيها قرابة الأربعة أمتار. لقد كانت كبيرة الحجم للغاية لدرجة أنها لم تستطع السباحةَ بصدفة صلبة كاملة، لذلك كان لها إطار عظمي فقط والذي كان يدعم غلافًا جلديًا أو عظميًّا خفيفًا وكانت الصدفة مقببة عالية نسبيًّا. وكان للسلحفية ذيل مدبَّب. وكانت اسنانها العلوية تتداخل مع السفلية عند الإغلاق وهو ما يُعرف بتراكب العضة (الصورة ١٤– ١). ويرجح أنها كانت تتغذى على الحبار الضخم والرخويات البحرية. لم تكن السلاحف البحرية الكبيرة الأحجام بدائية في بيولُجيَّتِها البتةَ. فإن أطرافها معدلة إلى أسطح انسياب مائي، وهي "تطير" تحت الماء. تستطيع السلاحف البحرية الإبحارَ بدقةٍ عبر آلاف الكيلومترات وهي حارة الدماء، تحافظ على درجات حرارتها عند مستويات أعلى بدرجة كبيرة من الماء المحيط بها.

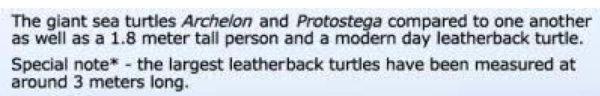


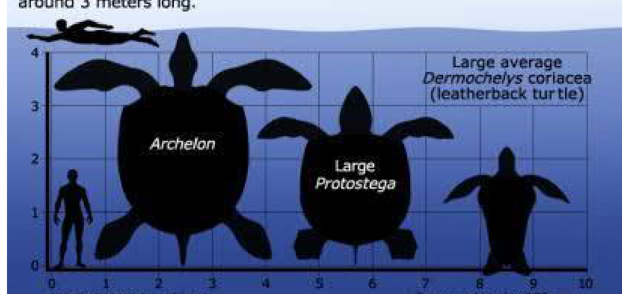


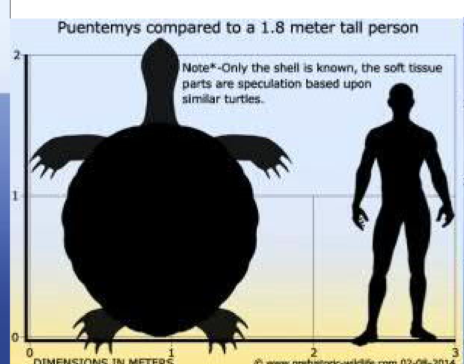


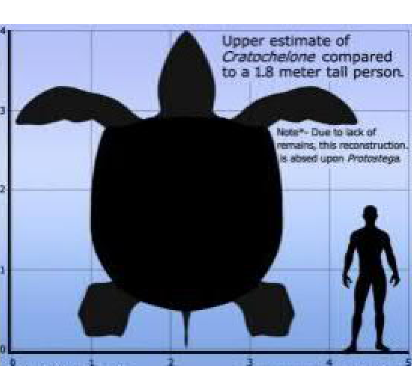


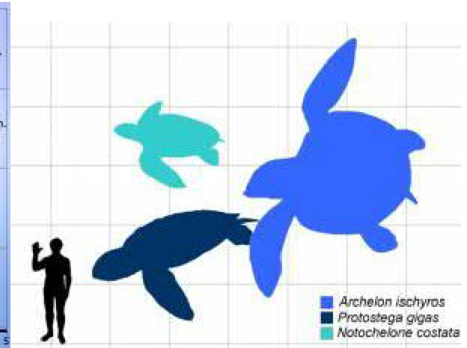
الصورة ١٤– ١ السلحفاة البحرية الضخمة Archelon من العصر الطباشيري، وقد طورت صدفةً مخفَّفة الوزن بحيث أمكنها الحفاظ على العوم والطفو في الماء.



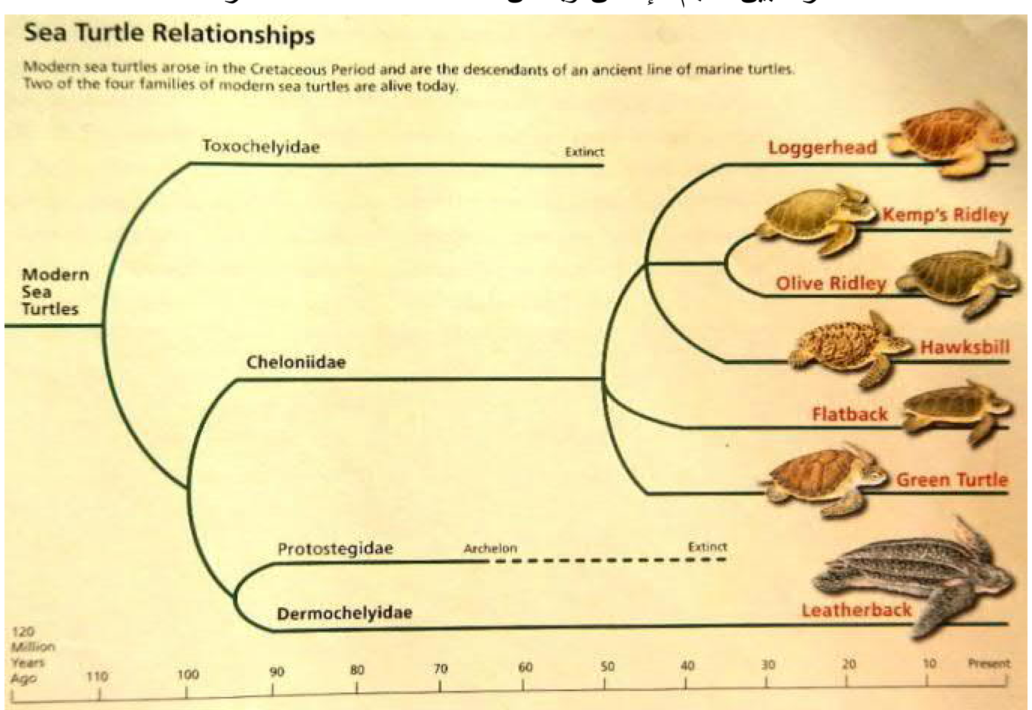




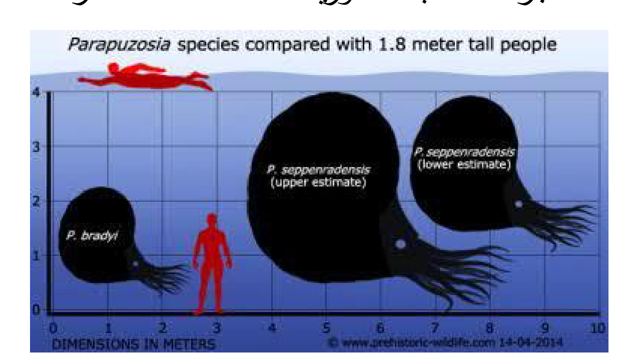




مقارنة بين حجم الإنسان وبعض السلاحف الضخمة المنقرضة



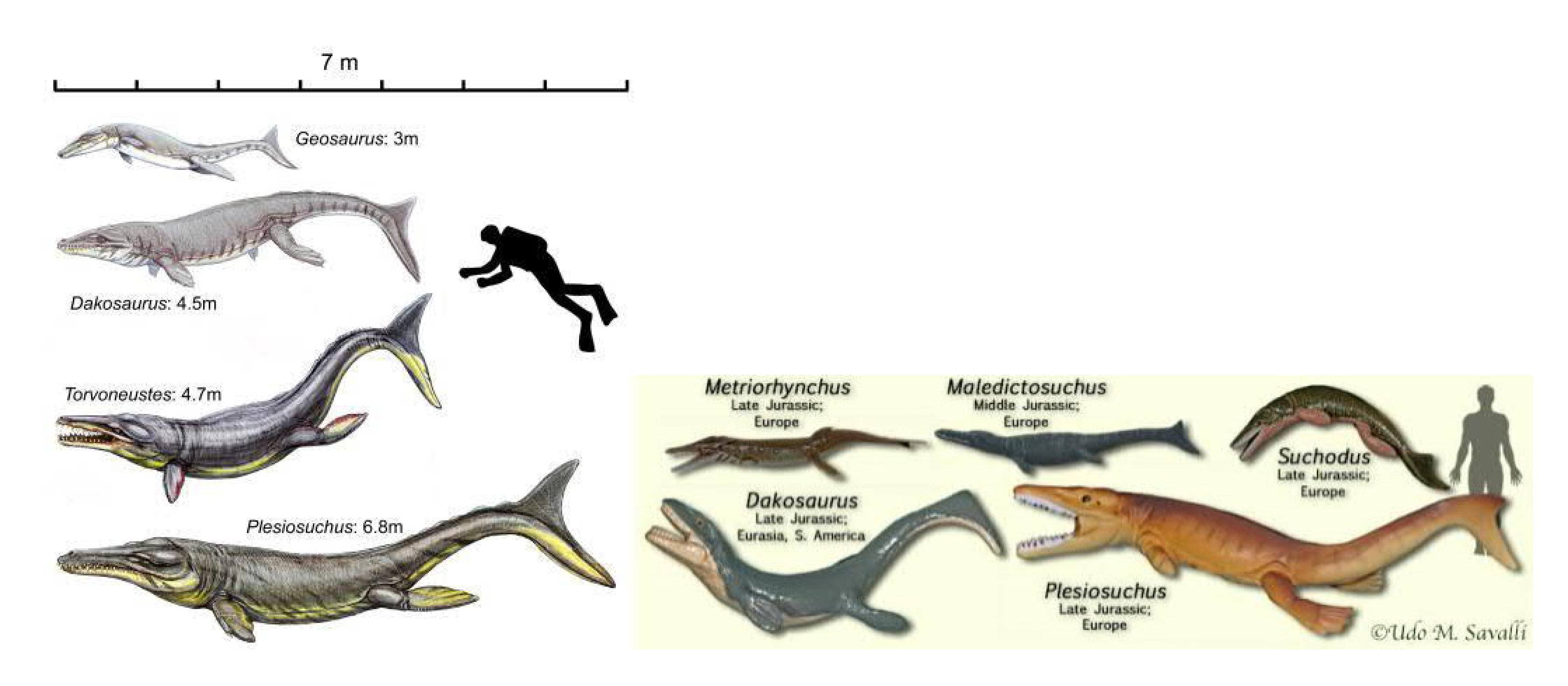
شجرة الأنساب التطورية للسلاحف المعاصرة



رخويات ضخمة منقرضة

التماسيح

التماسيح من الزواحف الحاكمة archosaurs، وقد كانت أسلافها بريَّةً على نحو واضح (راجع الفصل ١١). كانت كل التماسيح مفترِساتٍ بريّةً في العصر الترياسي المتأخرة. لقد كان هناك Parasuchids (كائنات شبيهة الشكل بالتماسيح من فصيلة ساقيّات الكاحل، تُدعى أحيانًا بالفيتوسورات phytosaurs) كبيرة الأحجام قوية شبيهة بالتماسيح في العصر الترياسي، ولم تصر التماسيح الحقيقية مائيةً إلا بعد انقراض تلك الأخريات. كان Terrestrisuchus [يعني اسمه التمساح البري] تمساحًا صغير الحجم من العصر الترياسي المتأخر في بريطانيا، وكان له أطراف منتصبة نحيلة طويلة، وطوله أقل من متر واحد، وقد ركض على الأرجح سريعًا على البرِّ (الصورة ١١– ١٥). عاشت التماسيح البريّة على قيد الحياة حتى العصر الجوارسي، وفي النهاية ربما تغلبت عليها في التنافس على البر الديناصوراتُ اللاحمة السائرة على قدمين theropod. منذ العصر الجوارسي المبكر، كانت أغلب التماسيح برمائية أسلوب الحياة. كان الكثير منها مفترسًا عند أو قرب حافة الماء. لقد صار بعضها مائيًّا بالكامل تقريبًا، بينما عاد بعضها إلى البر مرة أخرى في دهر الحياة الحديثة لتصير مفترِساتٍ برية قوية. تطورت التماسيح التي صارت برمائية الحياة أو مائية إلى أحجام كبيرة وكانت شائعة وافرة على نحو معقول في بحار وأنهار دهر الحياة الوسيطة. كان Deinosuchus [التمساح المرعب] من العصر الطباشيري المتأخر في تكساس أكبرَ تمساحٍ عاش على الإطلاق. لقد كان له جمجمة طولها متران، وكان طوله ١٠ أمتار، ووزَن ٥ أطنان. ربما كان يفترس الديناصورات ذوات المنقار الشبيه بمنقار البطة، (فهي توجد في نفس التكوينات الصخرية) بنفس الطريقة التي تفترس بها التماسيح النيلية أفراسَ النهر.



بعض التماسيح المنقرضة صارت مائية الحياة تمامًا

تماسيح العصر الحالي ليست مُعَدَّة لقتل الفرائس الكبيرة سريعًا. إنها تقتل في العادة الفريسةَ الكبيرةَ باحتجازها تحت الماء حتى تغرق. ليس هناك سبب للافتراض بأن Deinosuchus [التمساح المرعب أو الرهيب] فعلَ أي شيء أكثر تعقيدًا عندما اصطاد الديناصورات الكبيرة الأحجام. وكان Stomatosuchus تمساحًا ضخمًا ذا فمٍّ شبيهٍ بمنقار البطة في العصر الطباشيري الوسيط [أو المتأخر] في أفريقيا [في مصر]. يصعُب إعادة بناء وتصور إيكولُجيَّته [طريقة اعتياشه] لعدم وجود تماسيح ذوات منقار شبيه بمنقار البطة حية.





جمجمة التمساح الرهيب Deinosuchus مع مقارنتها بحجم الإنسان وبنموذج لجمجمة تمساح الأليجاتور



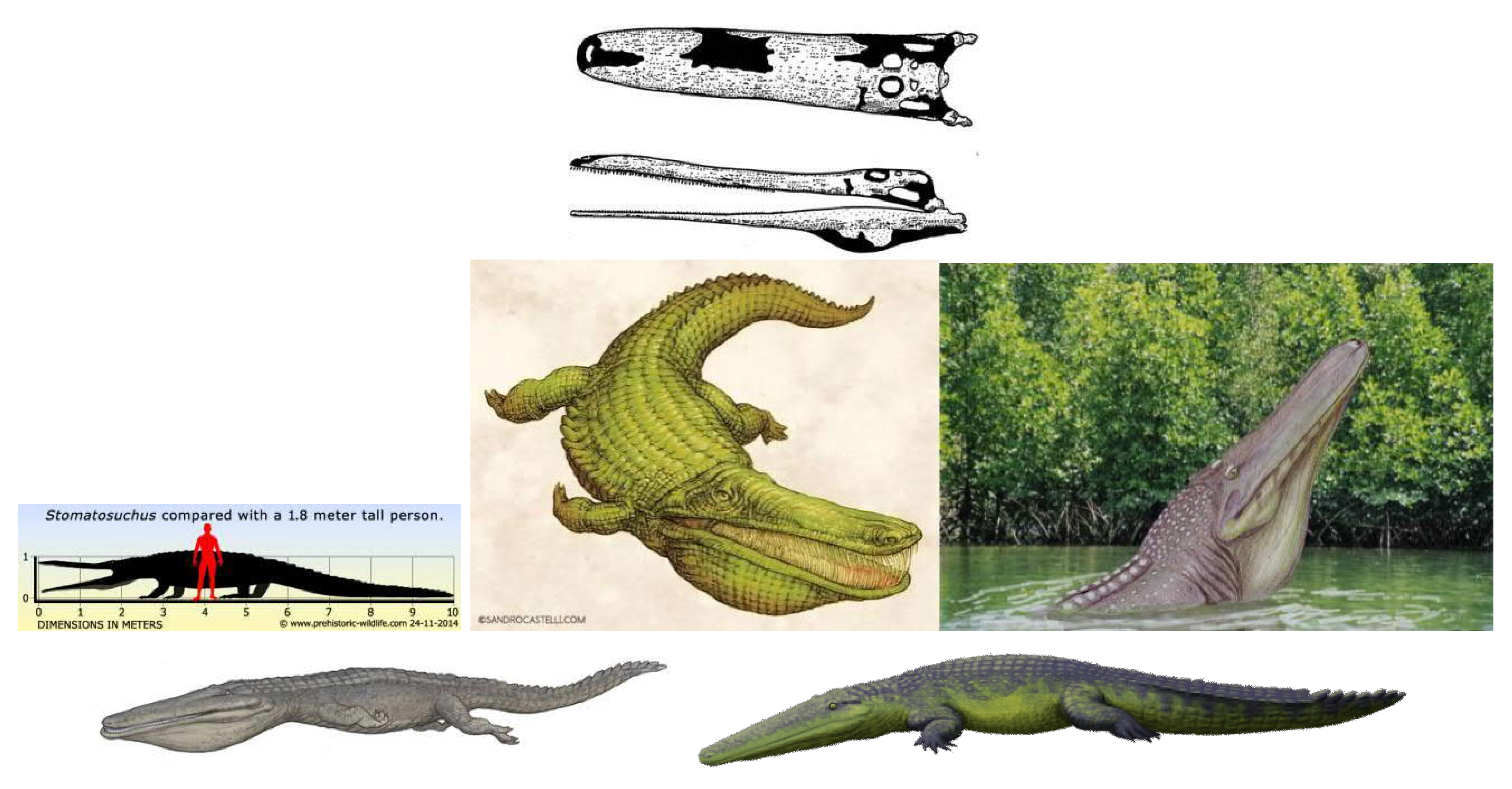
فقرة من العمود الفقري وصفائح خاصة بالتمساح الرهيب Deinosuchus، متحف كارنيج للتاريخ الطبيعي Carnegie Museum of Natural History



قطعة من فك التمساح الرهيب Deinosuchus، معروضة في متحف شمال كارولينا للعلوم الطبيعية North Carolina Museum of Natural Sciences



إعادات بناء ورسم للتسماح الرهيب Deinosuchus



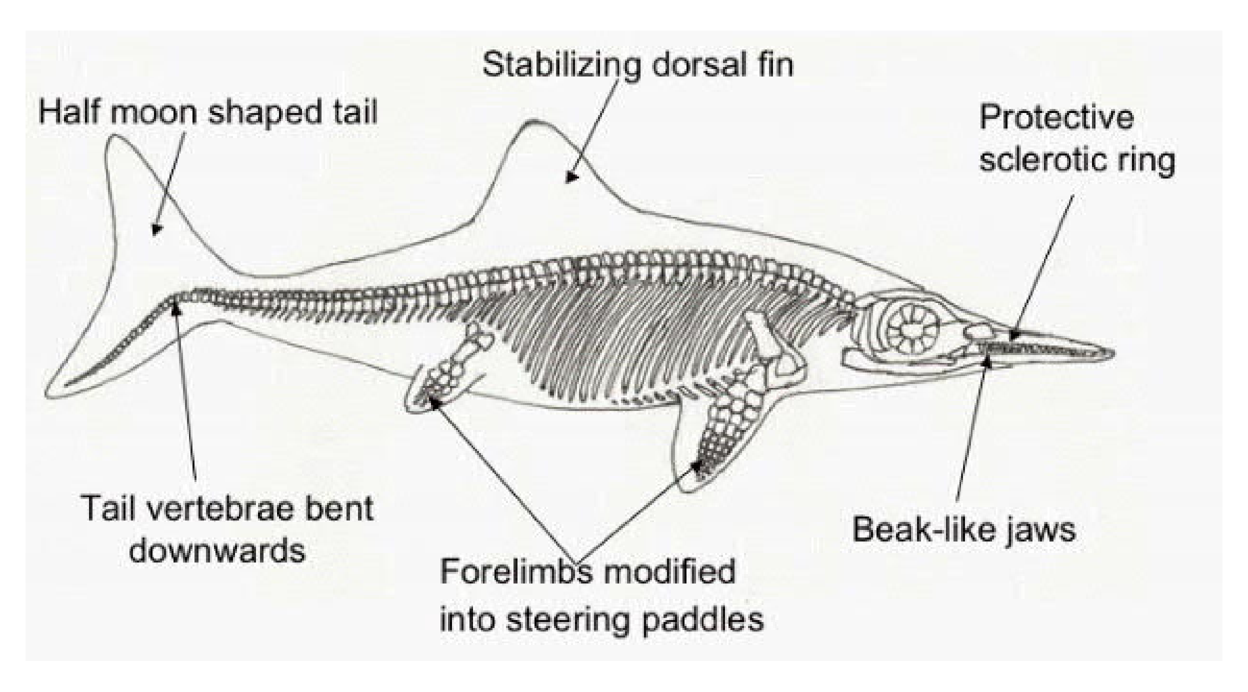
كان Stomatosuchus تمساحًا ضخمًا ذا فمٍ شبيهٍ بمنقار البطة في العصر الطباشيري الوسيط [أو المتأخر] في أفريقيا [في مصر]. للأسف لم يكن هناك سوى عينة وحيدة معثور عليها له والتي طُمِسَت وحُطِّمَت في غارةٍ من الحلفاء على جرمانيا في الحرب العالمية الثانية، ويتوفر رسم للعينة فقط.

الزواحف ذوات الأشكال الشبيهة بالسمكية Ichthyosaurs

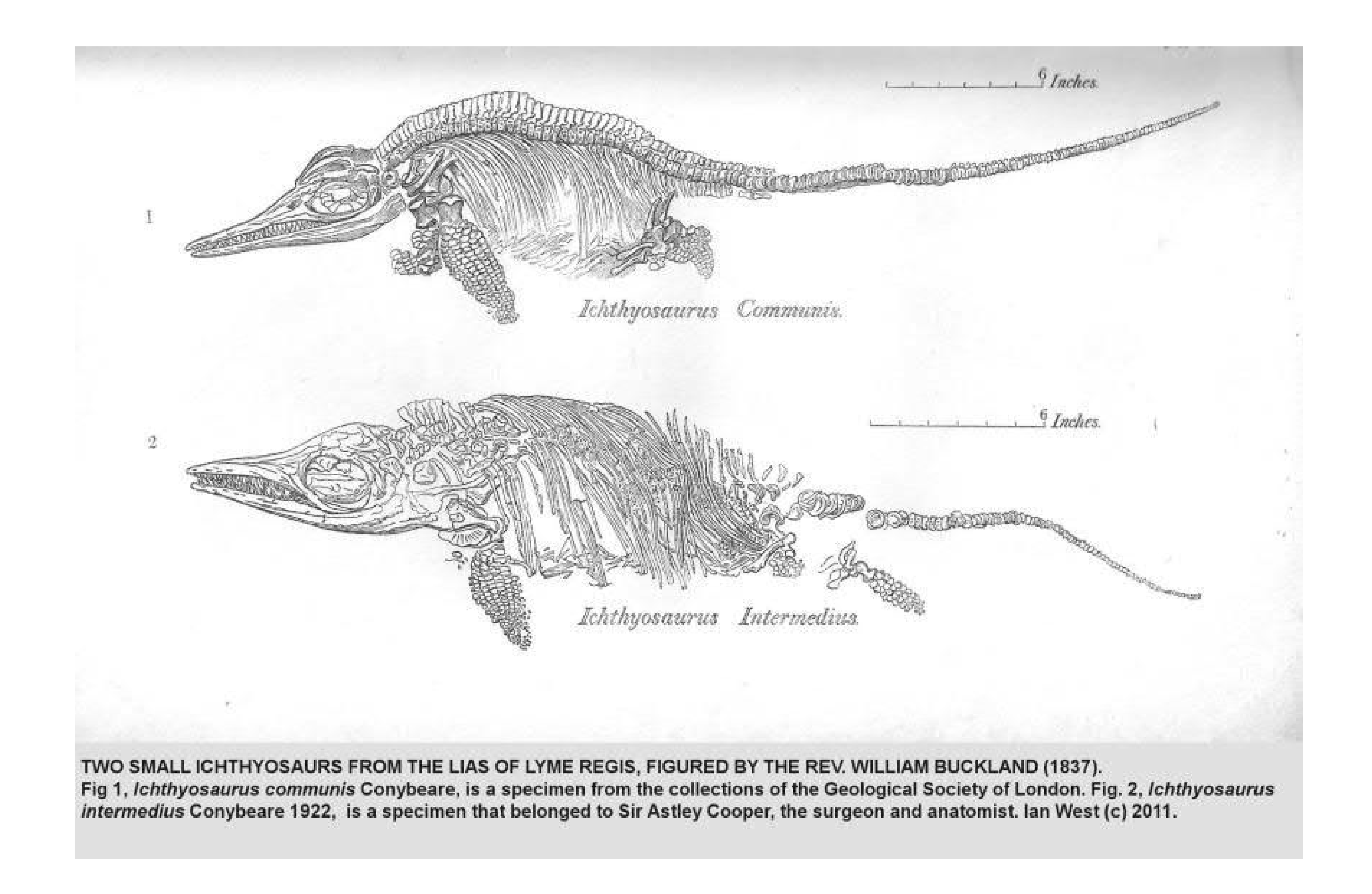
لا يسهُل ربط الزواحف ذوات الأشكال الشبيهة بالسمكية Ichthyosaurs بأي مجموعة أخرى من الزواحف، لكن لعل أفضل تخمين هو أنها كانت زواحف ذوات ثقبين صدغيين قاعدية [منبتية التطور من ذلك الفرع] مشتقة الصفات متطورة بدرجة عالية. لقد شكَّلَهم التطور بأشكال أشبه بالدلافين، ما عدا أن شعبتي الذيل أفقيتان في الدلافين وكانتا رأسيتين في الزواحف ذوات الأشكال الشبيهة بالسمكية Ichthyosaurs. كان للزواحف ذوات الأشكال السمكية Ichthyosaurs الأكثر تطورًا استمرارية أو زيادة من العمود الفقري تمتد إلى الزعنفة الذيلية السفلية (الصورة ١٤– ٢). بالتالي كان الدفع الرئيسي بحركة الجسد من جنب إلى آخر، مثل سمكة وليس كدولفين. وكانت أطرافها مُعدَّلةً إلى زعانف صغيرة صلبة قويّة للتوجيه والتحكم في وضع الجسد، مثل الدلافين أيضًا، بالتالي فقد كانت الزواحف السمكية الأشكال ichthyosaurs قادرة على المناورة في الماء باتجاه الأعلى والأسفل وكذلك باتجاه الجانبين (الصورة ١٤– ٣). كانت الزعنفة الذيلية في العادة ذات مسافة كبيرة جدًّا بين طرفيها، وهي سمة مميزة للكائنات السابحة التي تستعمل التسارع السريع في صيد الفرائس. كانت الزواحف السمكية الأشكال ichthyosaurs انسيابية الأجساد على نحو بديع، لكنها لم تكن تقدر على التحرك على البرِّ.



الصورة ١٤ –٢ متحجرة زاحف سمكي الشكل ichthyosaur، نوع Ichthyosaurus acutirostris، محفوظ كمتحجرة على نحو رائع مع جلده، من العصر الجوارسي المبكر في جرمانيا (٢٠٥– ١٨٠ مليون سنة ماضية). المتحف الأمِركي للتاريخ الطبيعي.



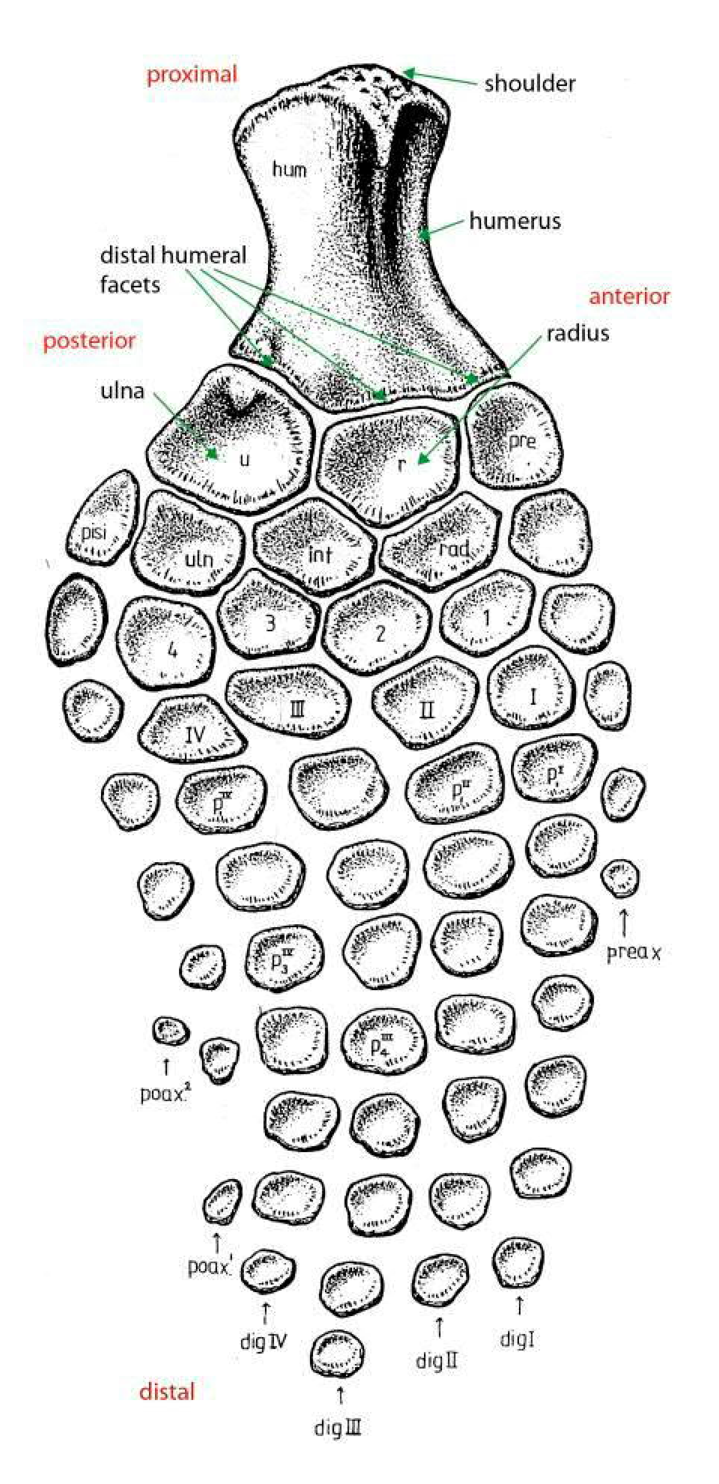
فك شبيه بالمنقار وأطراف معدلة إلى مجاديف توجيه للاتجاه وفقرات ذيلة متجهة إلى الأسفل (في متحجرات أنواع أخرى أقدم كانت مستقيمة الاتجاه) وزعنفة ظهرية للتوازن والتثبيت وحلقة واقية متصلبة عند أنفه



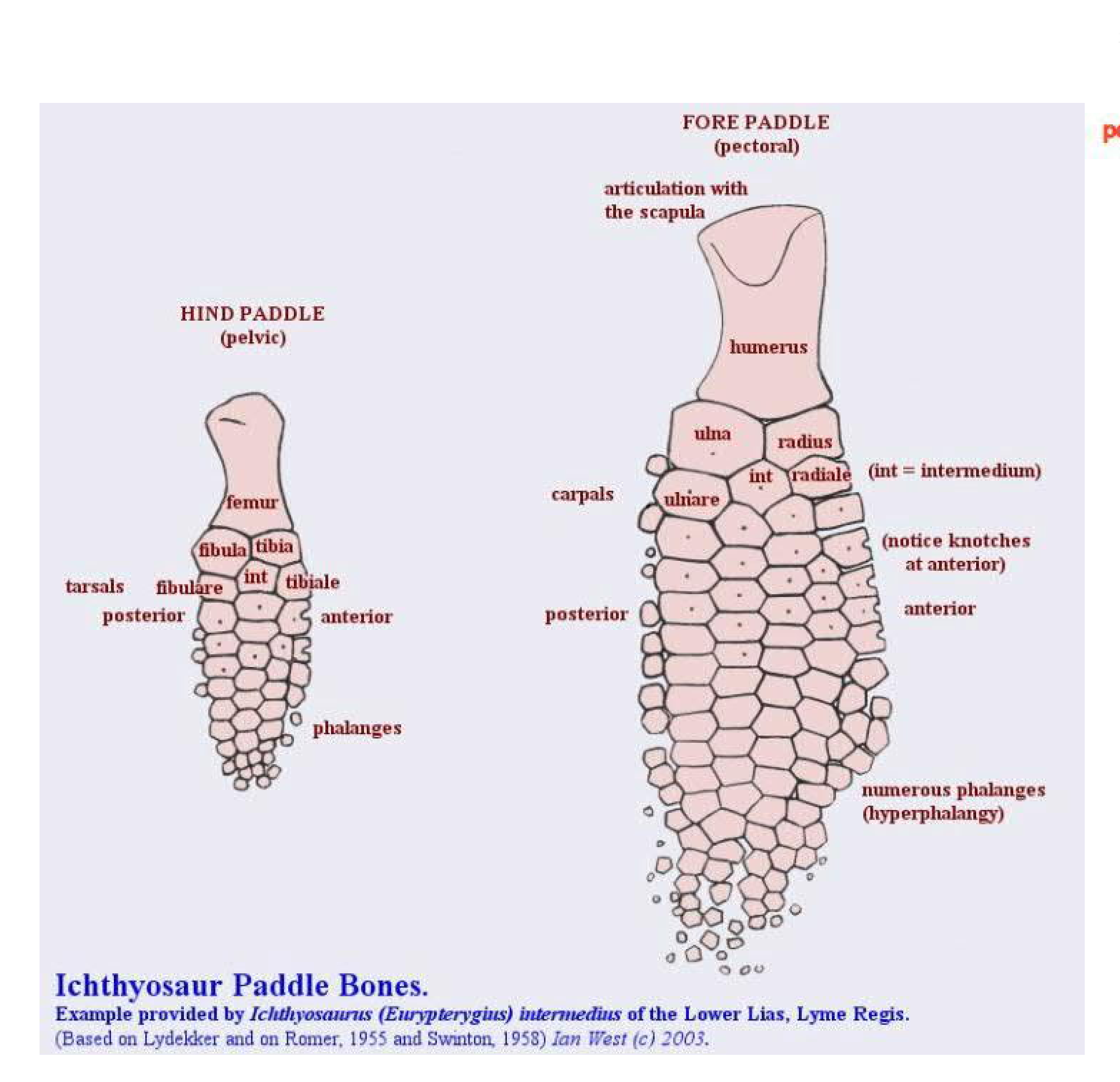
TWO SMALL ICHTHYOSAURS FROM THE LIAS OF LYME REGIS, FIGURED BY THE REV. WILLIAM BUCKLAND (1837).
Fig 1, *Ichthyosaurus communis* Conybeare, is a specimen from the collections of the Geological Society of London. Fig. 2, *Ichthyosaurus intermedius* Conybeare 1922, is a specimen that belonged to Sir Astley Cooper, the surgeon and anatomist. Ian West (c) 2011.



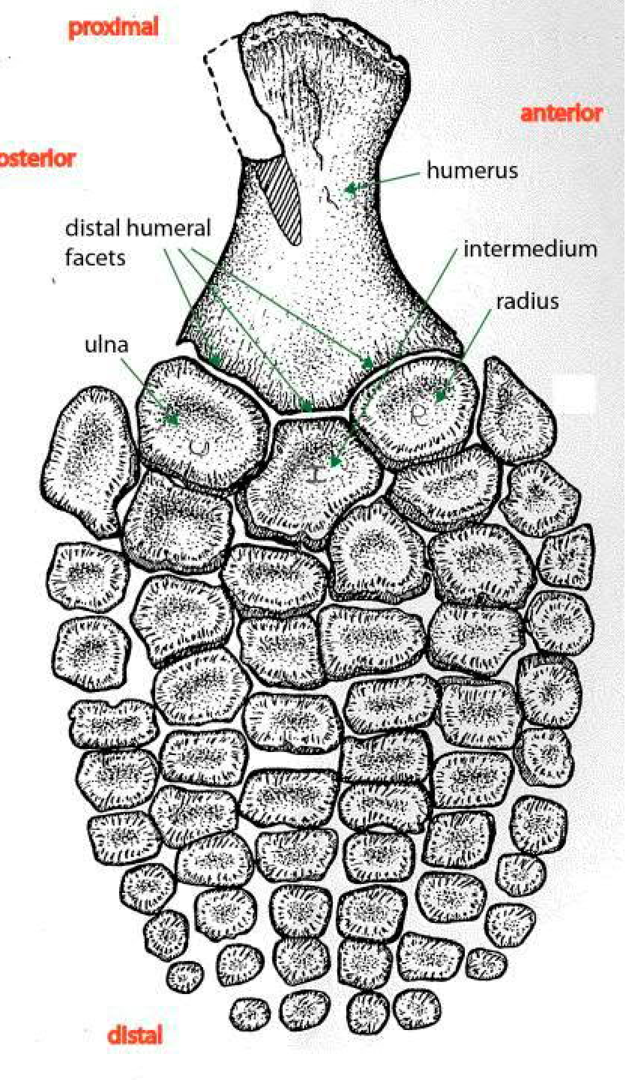
الصورة ١٤ –٣ متحجرة يد متحورة إلى زعنفة لزاحف سمكي الشكل ichthyosaur، من العصر الجوارسي في بريطانيا. متحف جامعة أُكسفورد.



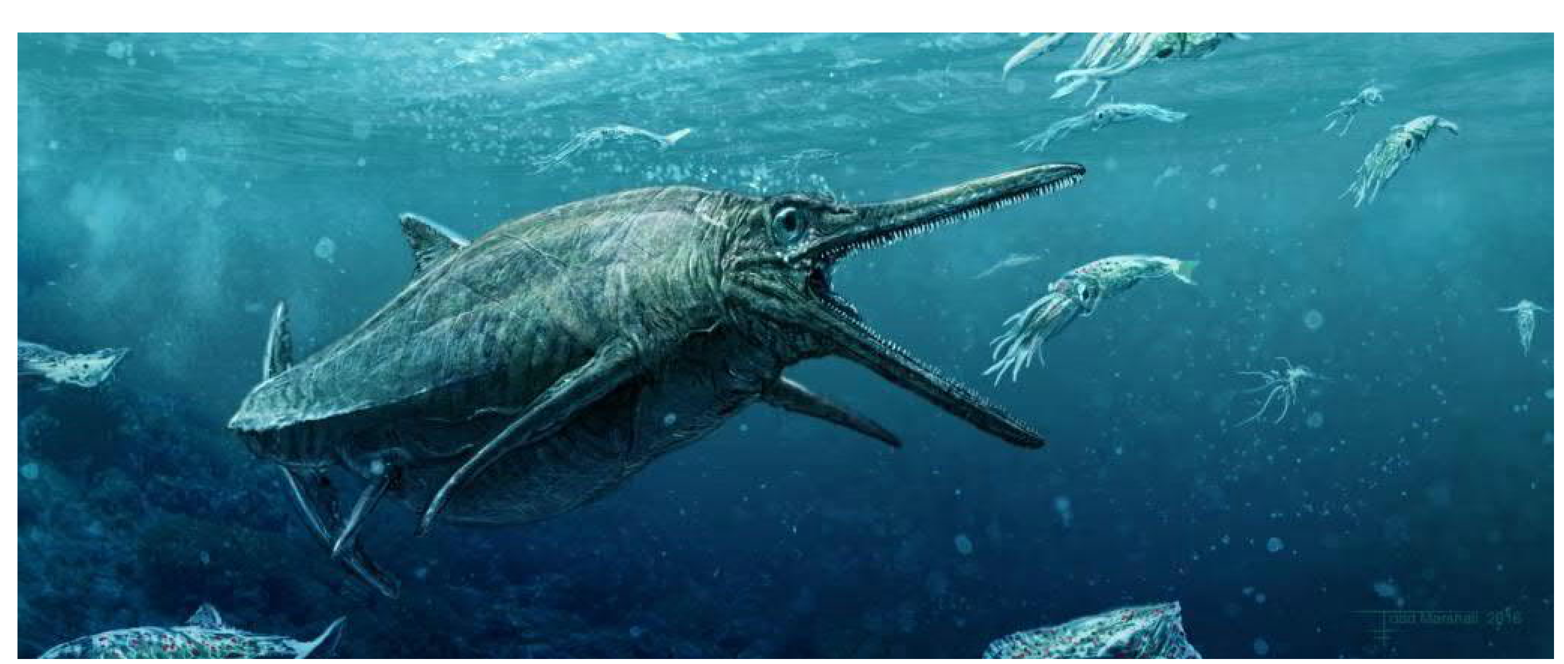




Ichthyosaur Paddle Bones.
Example provided by *Ichthyosaurus (Eurypterygius) intermedius* of the Lower Lias, Lyme Regis.
(Based on Lydekker and on Romer, 1955 and Swinton, 1958) *Ian West (c) 2003.*

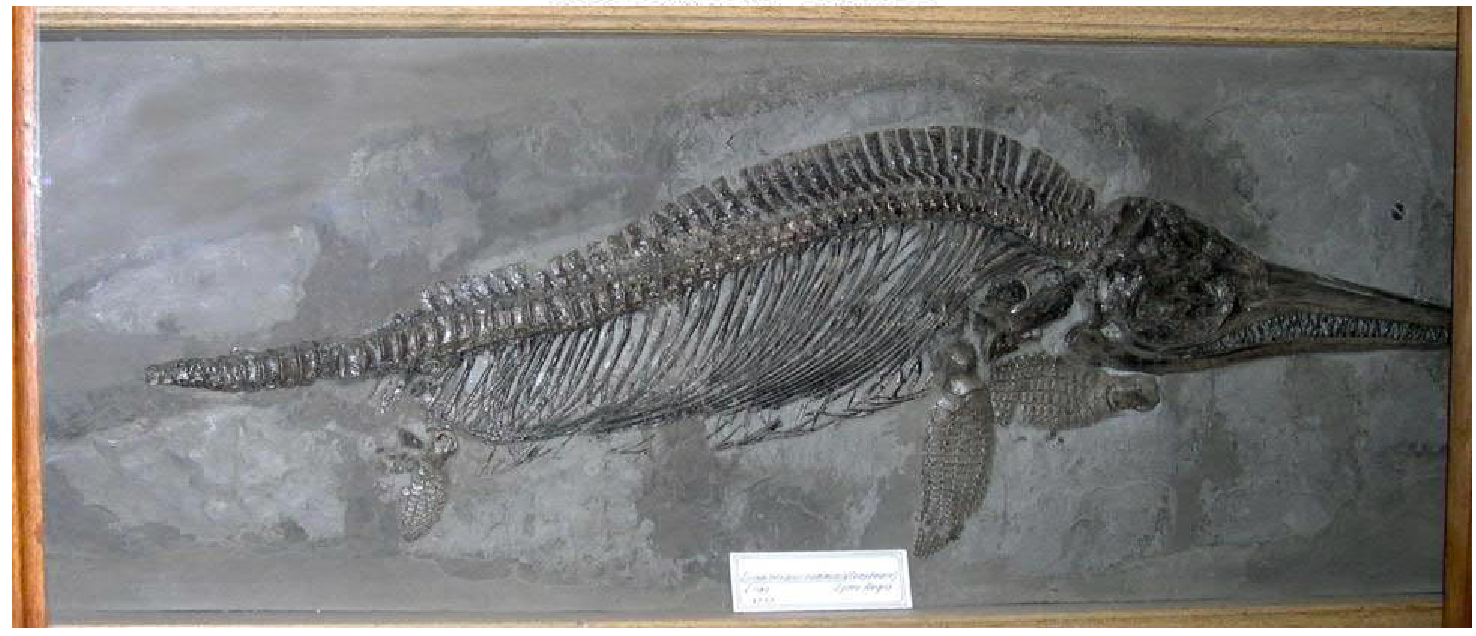


لقد عُرِفَتْ المتحجرات الجميلة للزواحف السمكية الأشكال ichthyosaurs منذ مئتي سنة، وقد ذُكِرَتْ في الكثير من النقاشات المبكرة عن نظرية التطور لأن أي أحد يستطيع أن يُدرِك ويتعرف على تكيفاتها المتقَنة الفاتنة للحياة في الماء (الصورة ١٤– ١٤). كان لكل الزواحف السمكية الأشكال ichthyosaurs بصرٌ جيّدٌ، بعينين كبيرتين تنظران على طول خط الفك. في الزواحف الشبيهة بالأشكال السمكية ichthyosaurs المتطورة المتقدمة كان الفك طويلًا ونحيلًا، به الكثير من الأسنان الثاقبة الحادة المخروطية الشكل والتي كانت مطورة على نحو جيد للإمساك بالأسماك. تتضمن محتويات الأمعاء المحفوظة كمتحجراتٍ قشورَ أسماكٍ وخُطَيِّفات [تصغير خطاطيف أو كلاليب] من أذرع رأسيات أرجلٍ، على الأرجح حيوانات حبّار طرية الأجساد. كان أحد الزواحف السمكية الشكل الرائعة من العصر الجوارسي _المعروف باسم Eurhinosaurus [ذو الأنف الطويل أو السيف]_ له فك علوي شبيه بالسيف يبرز ويمتد أبعد بكثير من الفك السفلي، وبه أسنان على كل طوله. كان Eurhinosaurus [ذو الأنف الطويل أو السيف] على الأرجح نظيرًا إيكولُجيًّا [في طريقة اعتياشه] لأسماك أبي سيف، فكان يستخدم فكه العلوي ليشق طريقه عبر سِربٍ [قطيعٍ] للأسماك، ثم يدور هنا وهناك ليمسك [يصطاد] ضحاياه المشلولة [بالمفاجأة والرعب].

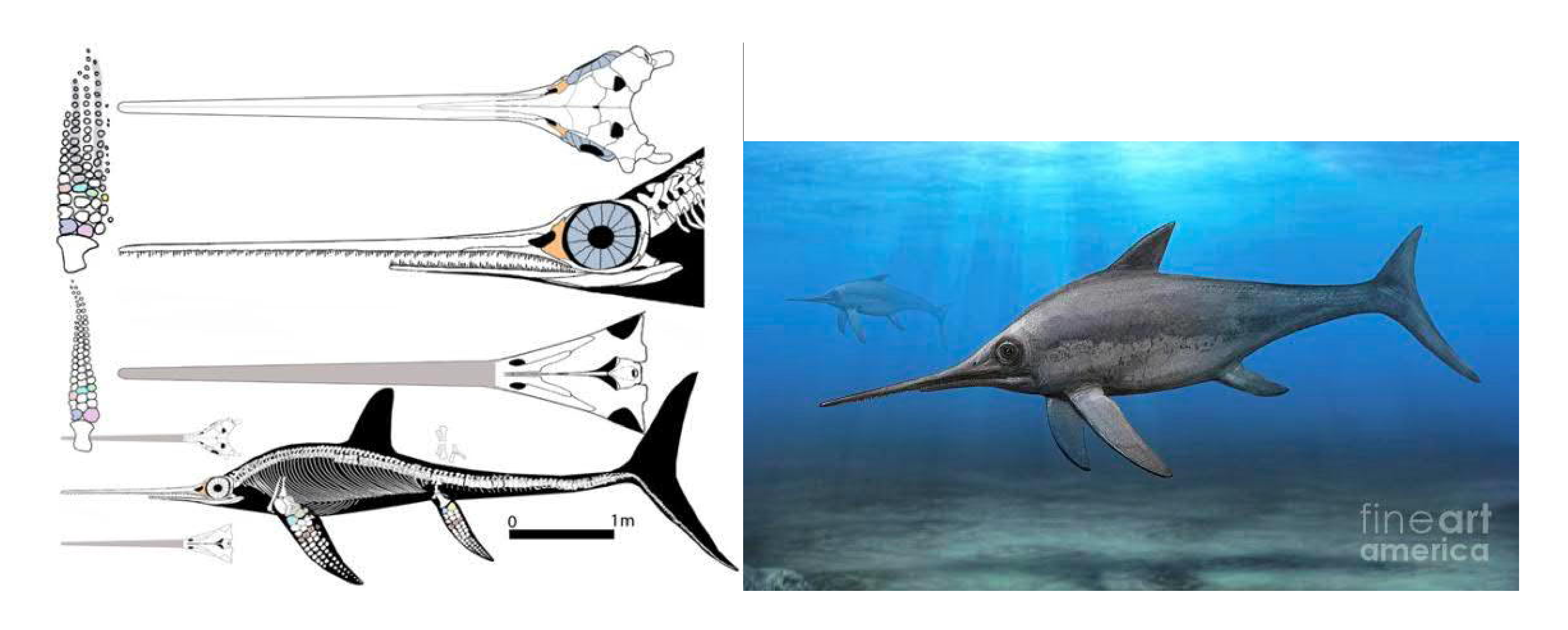


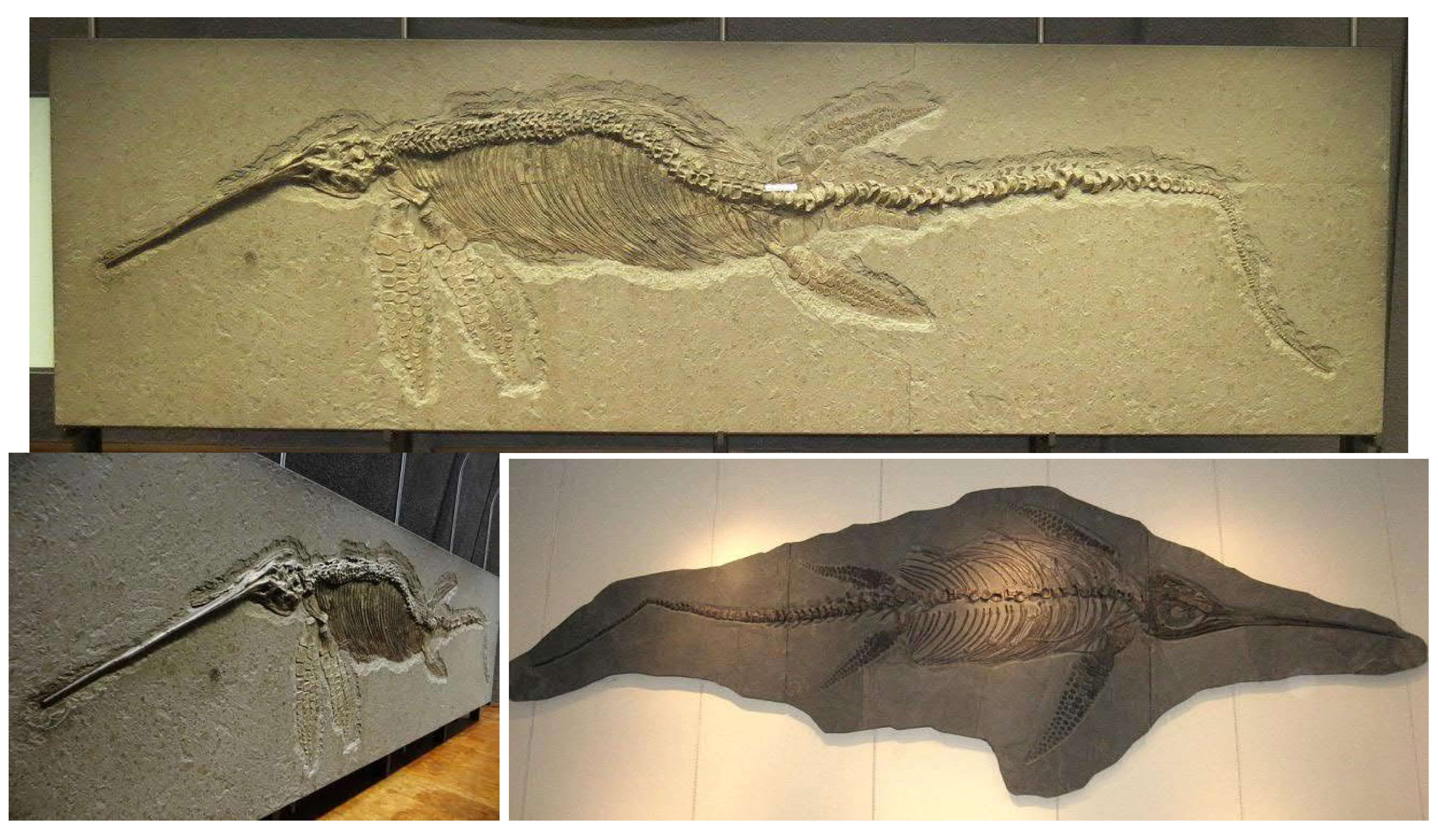
كانت الزواحف السمكية الأشكال تتغذى على الحبار والأمونيات والأسماك وعلى الأنواع الأخرى من رتبتها. هذا رسم للنوع ichthyosaur



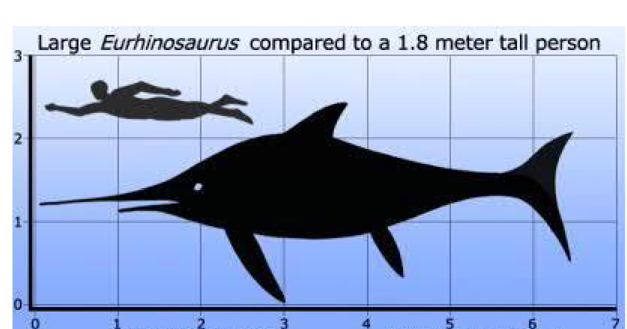


الصور ١٤- ٤ متحجرتان لـ Ichthyosaurus communis [الزاحف السمكي الشكل من النوع الشائع]، اكتُشِفَت متحجراتٌ جميلة للزواحف السمكية الأشكال ichthyosaurs مبكرًا منذ القرن التاسع عشر وأثارت الكثير من النقاش حول التطور.





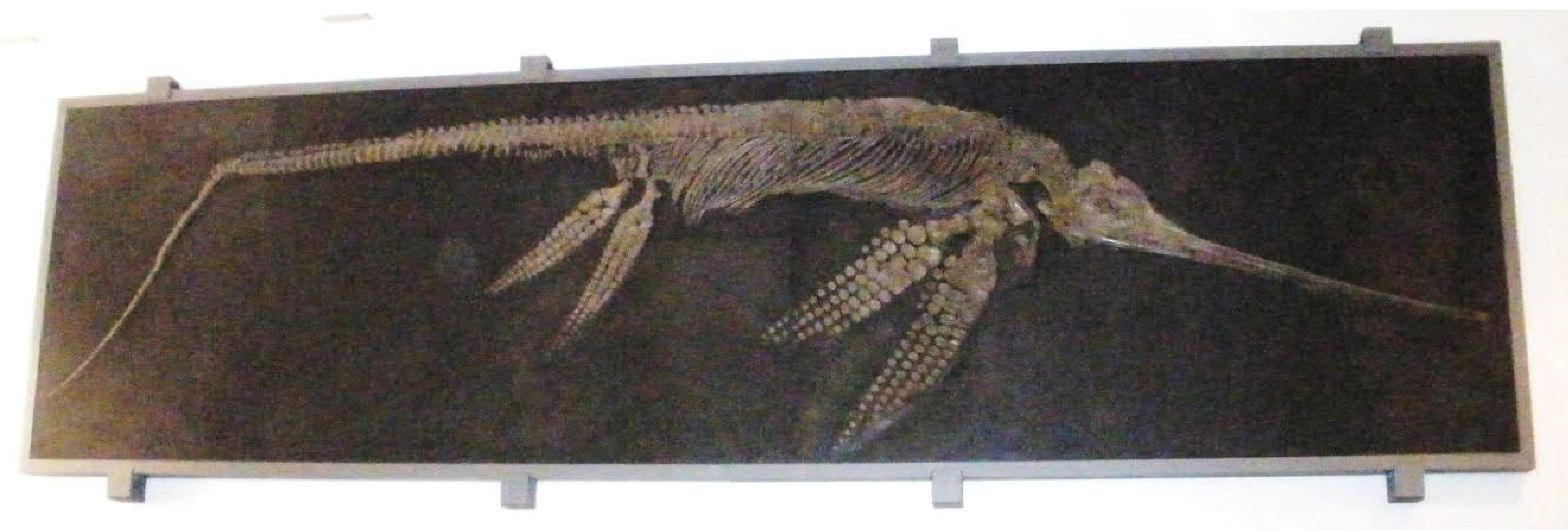



Large *Eurhinosaurus* compared to a 1.8 meter tall person
0
1
2
3
4
5
6
7
DIMENSIONS IN METERS
© www.prehistoric-wildlife.com













بعض متحجرات أنواع جنس Eurhinosaurus [الزاحف ذي الشكل السمكي ذي الأنف الطويل أو السيف]، أنواع Eurhinosaurus Koenigslutter, Eurhinosaurus longirostris, & Eurhinosaurus Urweltmuseum

كان لمعظم الزواحف ذوات الأشكال السمكية ichthyosaurs المبكرة أسنان ثلماء غير حادة كاسرة للأصداف وربما كانت تصطاد وتحطم الأمونيّات ammonites ورأسيات أقدام ذوات أصداف أخرى في طريقة حياة لم تتطلب معدلاتٍ عاليةً من الأداء الهيدروديناميكي [المائي الحركي]. إن أقدم زواحف سمكية الشكل عُثِر عليها حتى اليوم، وهي من العصر الترياسي المبكر في نصف الكرة الشمالي، كانت صغيرة الحجم، طول الواحد منها حوالي متر واحد (٣ أقدام)، لكنها كانت متخصصة بالفعل في الحياة في البحر. لقد كان Mixosaurus [يعني اسمه الزاحف السمكي الشكل ذو الصفات المختلطة، حيث كانت صفاته انتقالية بين الزواحف السمكية الشكل المبكرة ذوات الشكل الشبيه بالإنقليس مثل النوع Cymbospondylus إلى الزواحف السمكية الشكل اللاحقة ذوات الشكل الشبيه بالدولفين مثل Ichthyosaurus] زاحفًا سمكيَّ الشكل مبكرًا نمطيًّا [نموذجيًّا] صغير الحجم، من صخور العصر الترياسي الوسيط، وانتشر من القطب الشمالي إلى نيڤادا وإلى إندونيسيا، لكن أفضل العينات المتحجرة حفظاً جاءت من جبال الألب. لم يكن آخر العمود الفقري قد اتجه إلى الأسفل ليُشَكِّل الزعنفة الذيلية السفلية، لكن كل السمات الأخرى تقريبًا تُظْهِر تكيفًا ممتازًا للسباحة، مع كون الأطراف كانت معدلةً تمامًا إلى زعانف فعّالة.

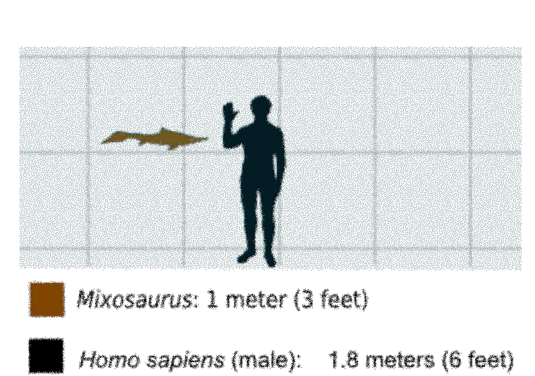




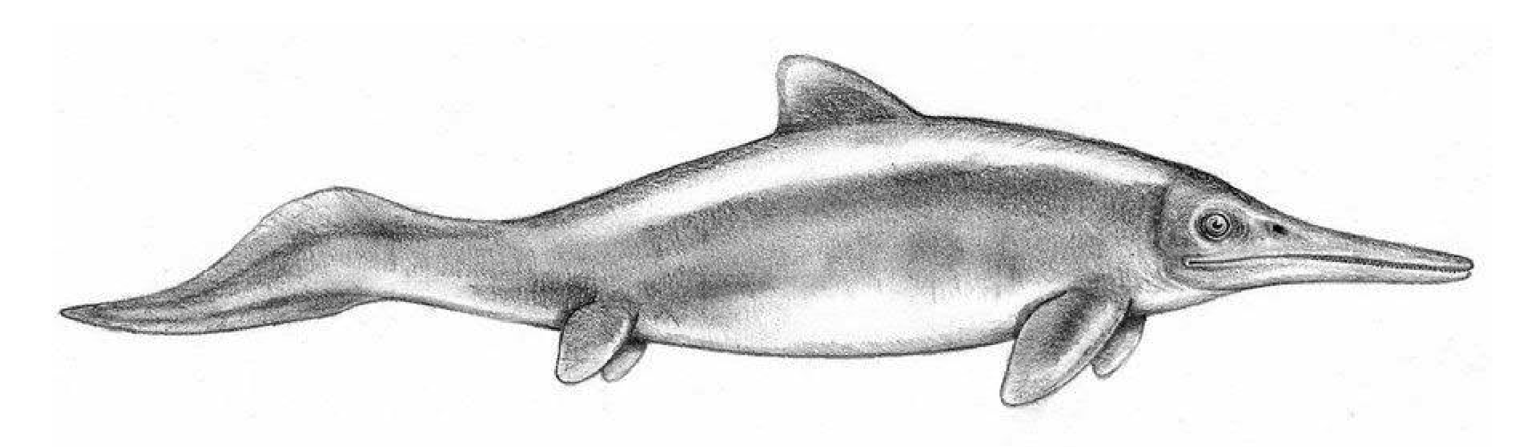




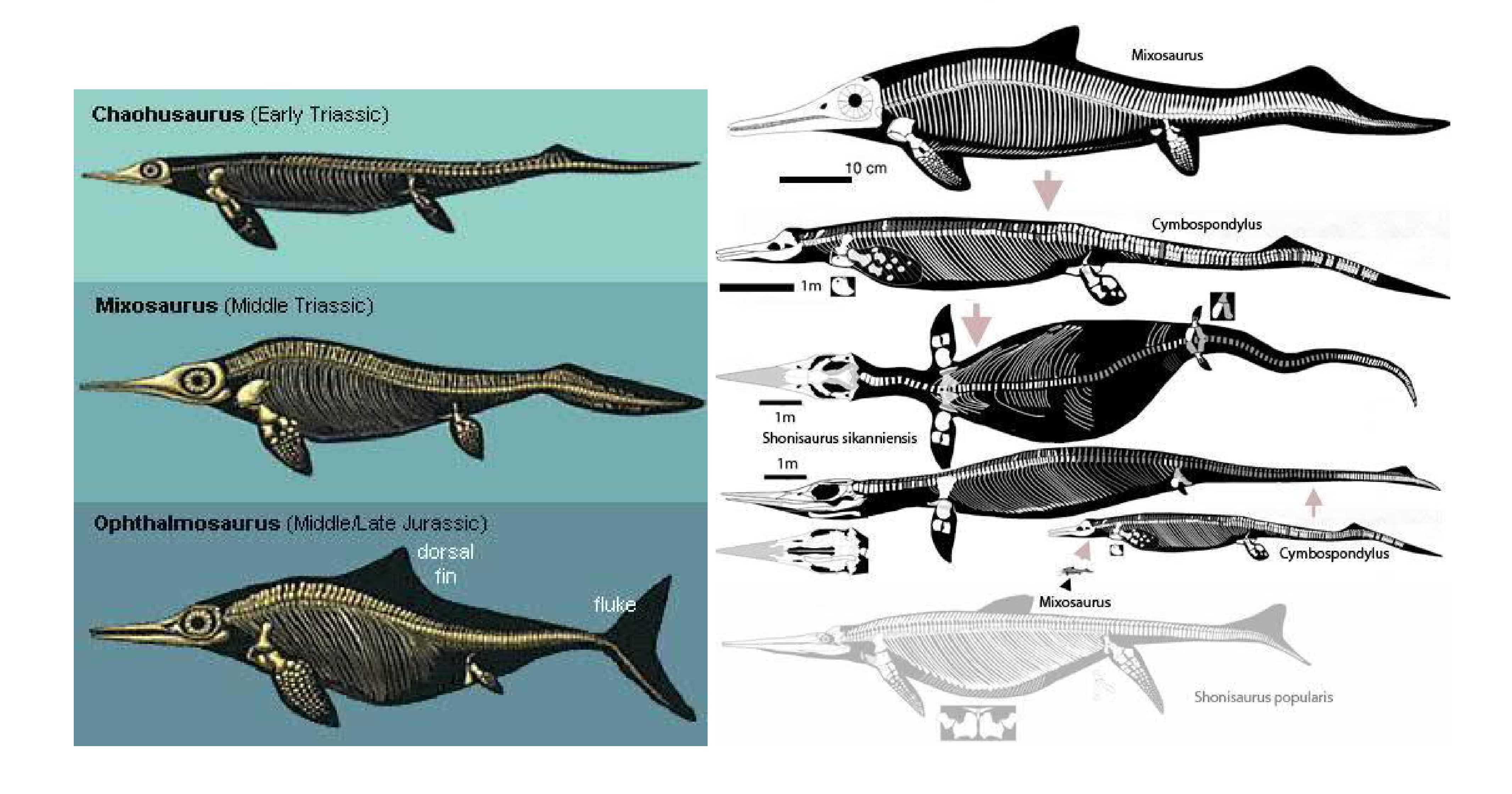
Barracudasauroides panxianensis, a genus of mixosaurid ichthyosaur

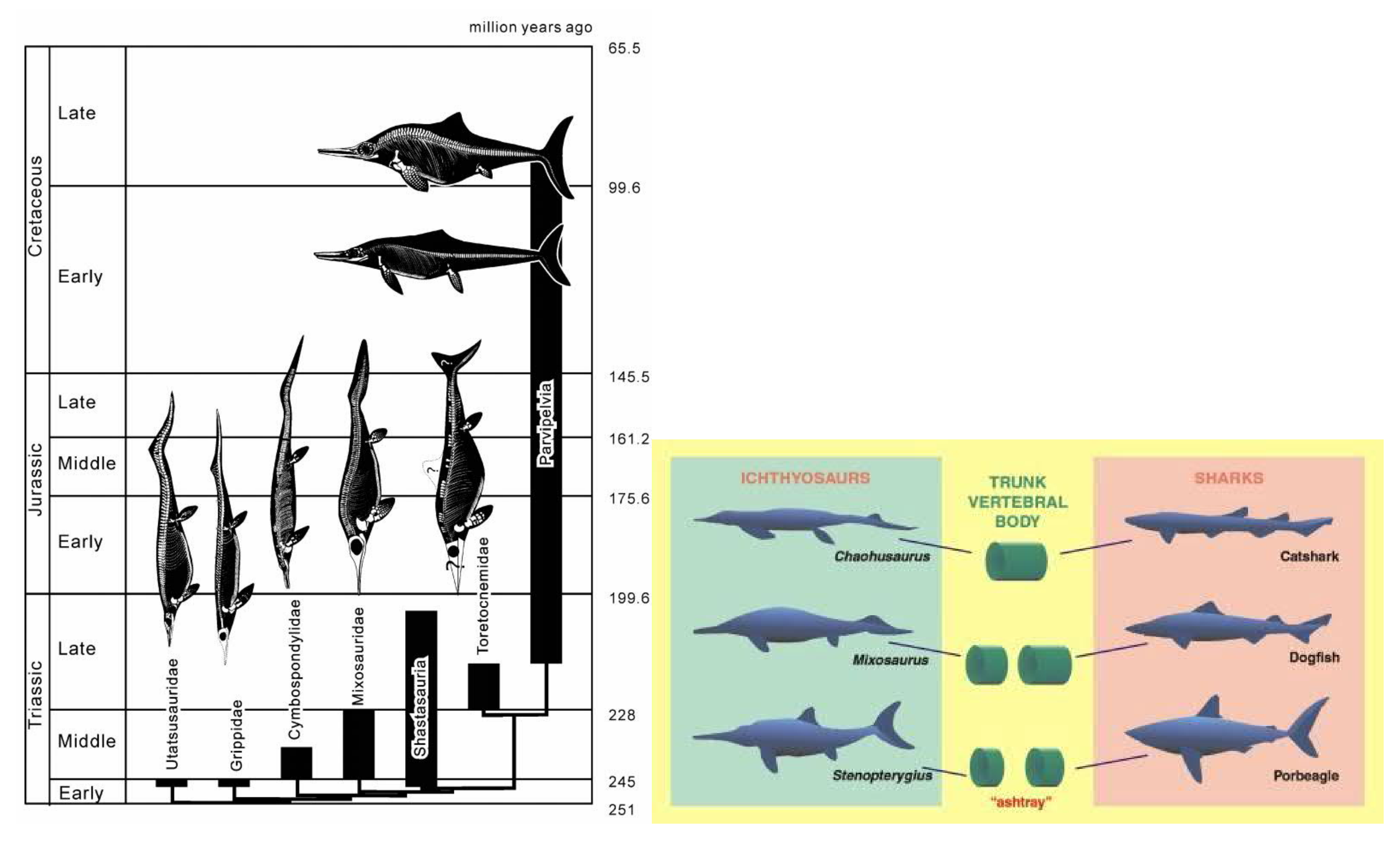






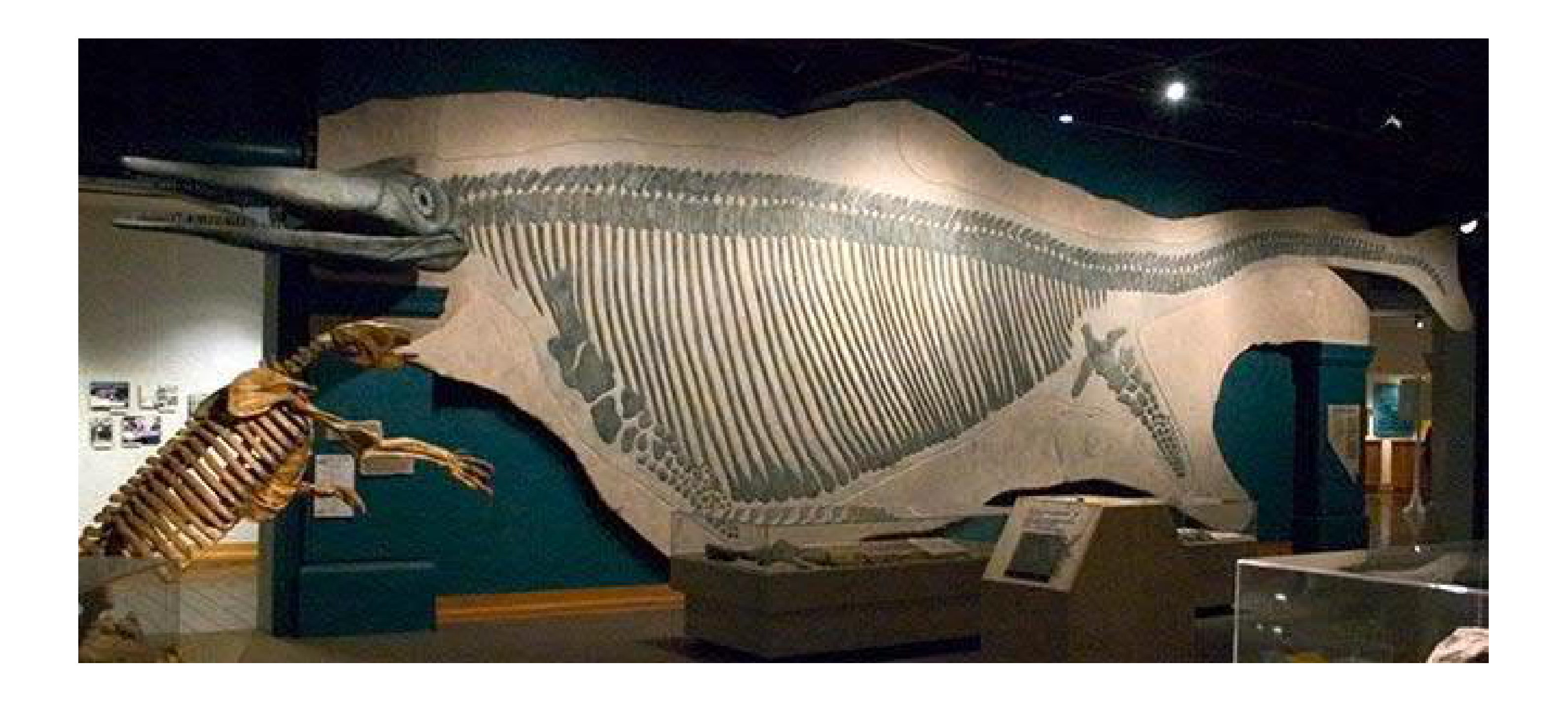
كان Mixosaurus [يعني اسمه الزاحف السمكي الشكل ذو الصفات المختلطة، حيث كانت صفاته انتقالية بين الزواحف السمكية الشكل المبكرة ذوات الشكل الشبيه بالإنقليس إلى الزواحف السمكية الشكل اللاحقة ذوات الشكل الشبيه بالدولفين] زاحفًا سمكيَّ الشكل مبكرًا نمطيًّا [نموذجيًّا] صغير الحجم، من صخور العصر الترياسي الوسيط، لم يكن آخر العمود الفقري قد اتجه إلى الأسفل ليُشَكِّل الزعنفة الذيلية السفلية، لكن كل السمات الأخرى تقريبًا تُظْهِر تكيفًا ممتازًا للسباحة.

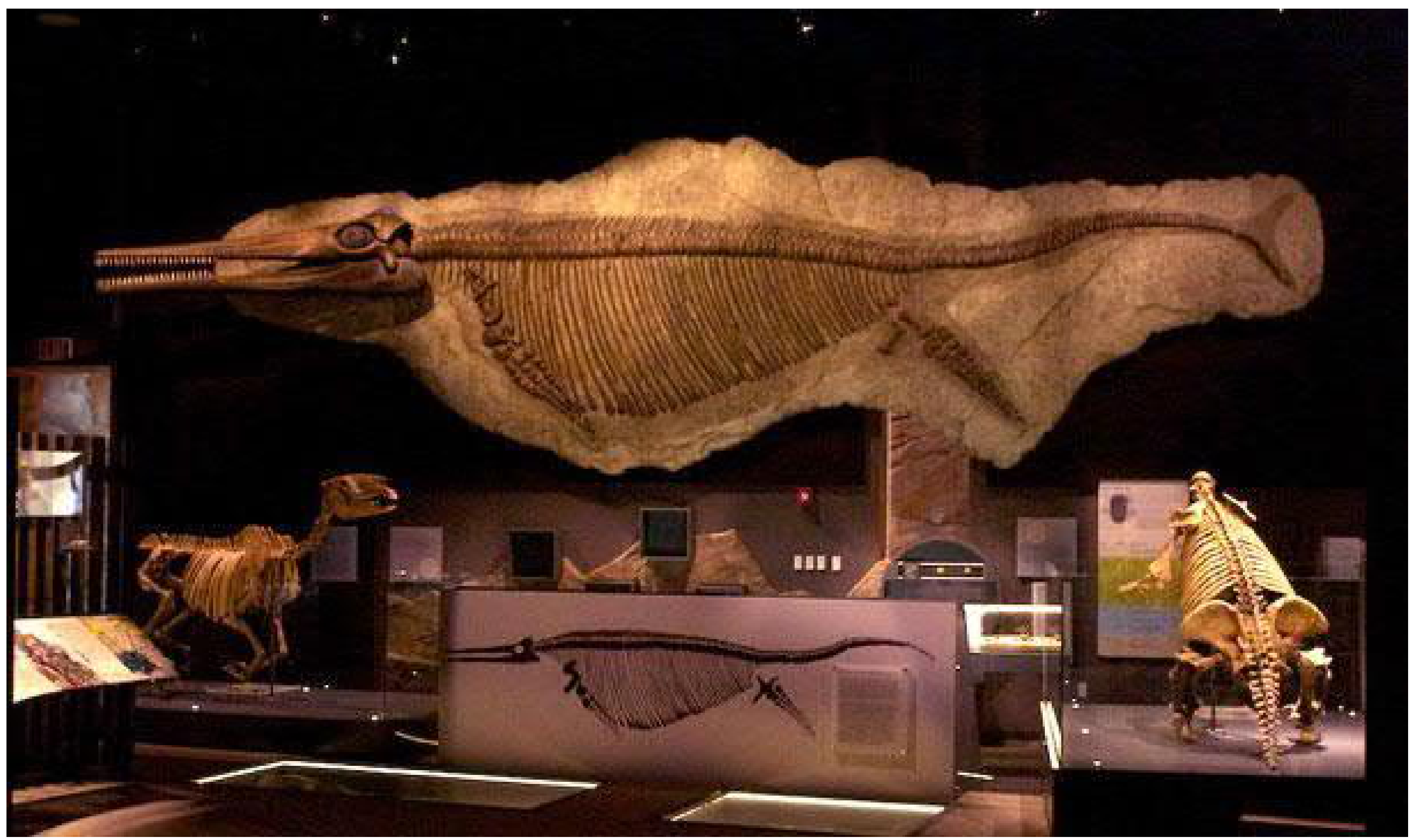




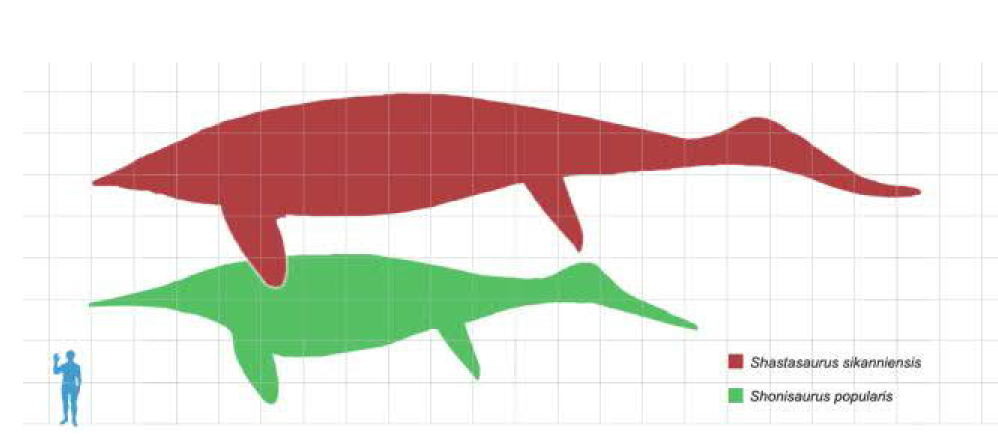
مقارنة بين الزعانف الذيلية والبناء الجسدي لعدد من أنواع الزواحف السمكية الأشكال **Ichthyosaurs**، وقد تطورت من شكل شبيه بالإنقليس مستقيم الذيل إلى شكل شبيه بالدلافين

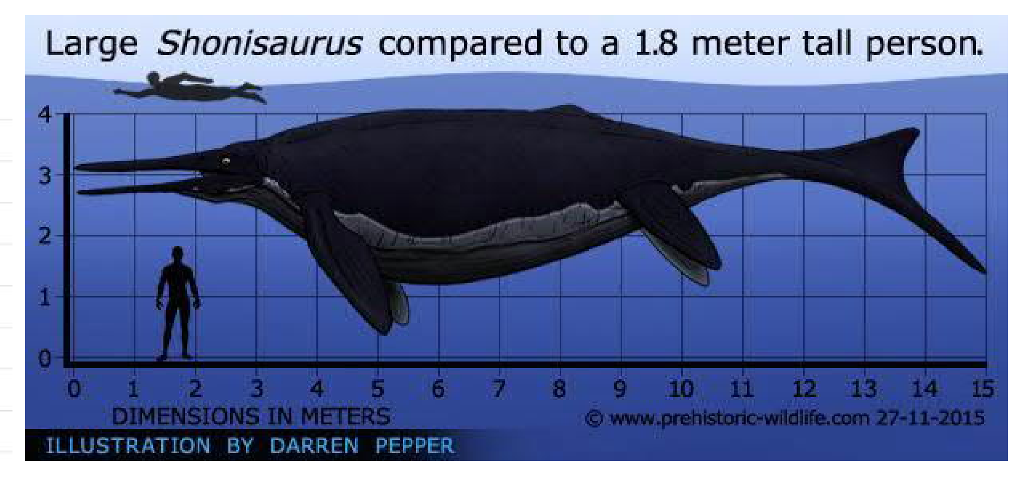
إن Shonisaurus [زاحف تكوين جبال شوشون في نيفادا في أمركا Shoshone حيث اكتُشِفت به متحجراته فيما كان بحرًا قديمًا] من العصر الترياسي المتأخر في نيڤادا، والذي كان طوله ١٥ مترًا (٥٠ قدمًا)، أحد أكبر الزواحف السمكية الشكل ichthyosaurs حجمًا التي نعرفها. لقد كان قويًّا أيضًا، ذا جسدٍ قوي ضخم وسيع وزعانف طويلة قوية (الصورة ١٤– ٥). لقد تحجرت ٣٧ عينة من Shonisaurus [زاحف جبل شوشون السمكي الشكل] معًا، معظمها مواجِهةً نفسَ الاتجاه، على الأرجح نتيجةً لجنوح [انجراف] جماعي [إلى البر]، مثل الكوارث التي تحدث من وقتٍ إلى آخَرَ للحيتان والدلافين في العصر الحالي.

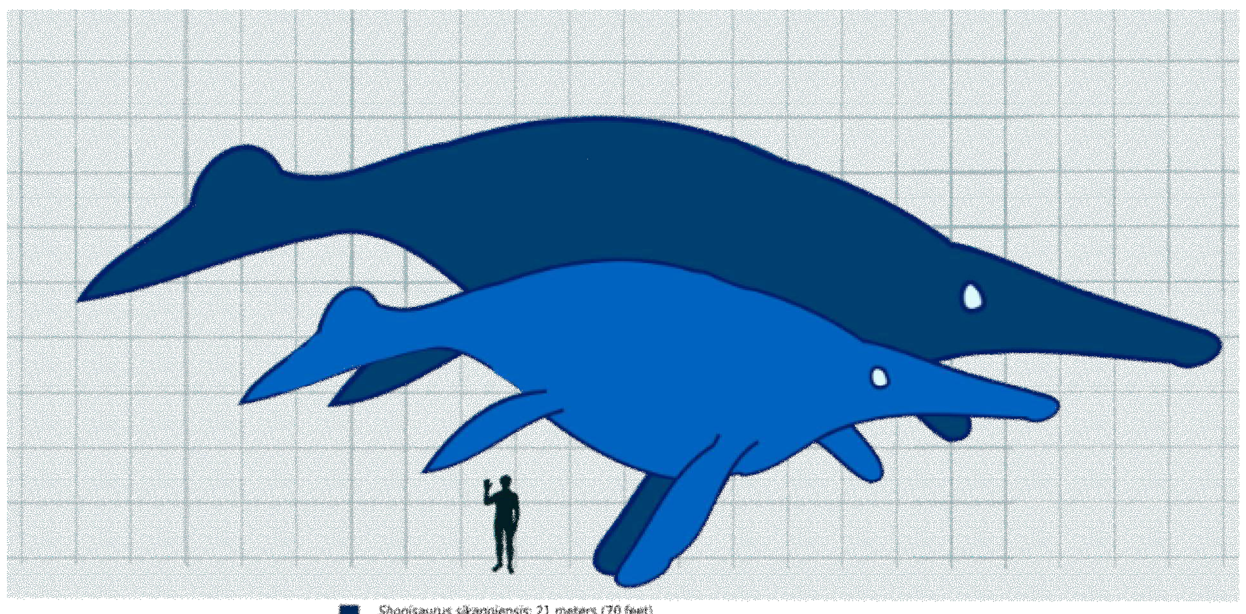








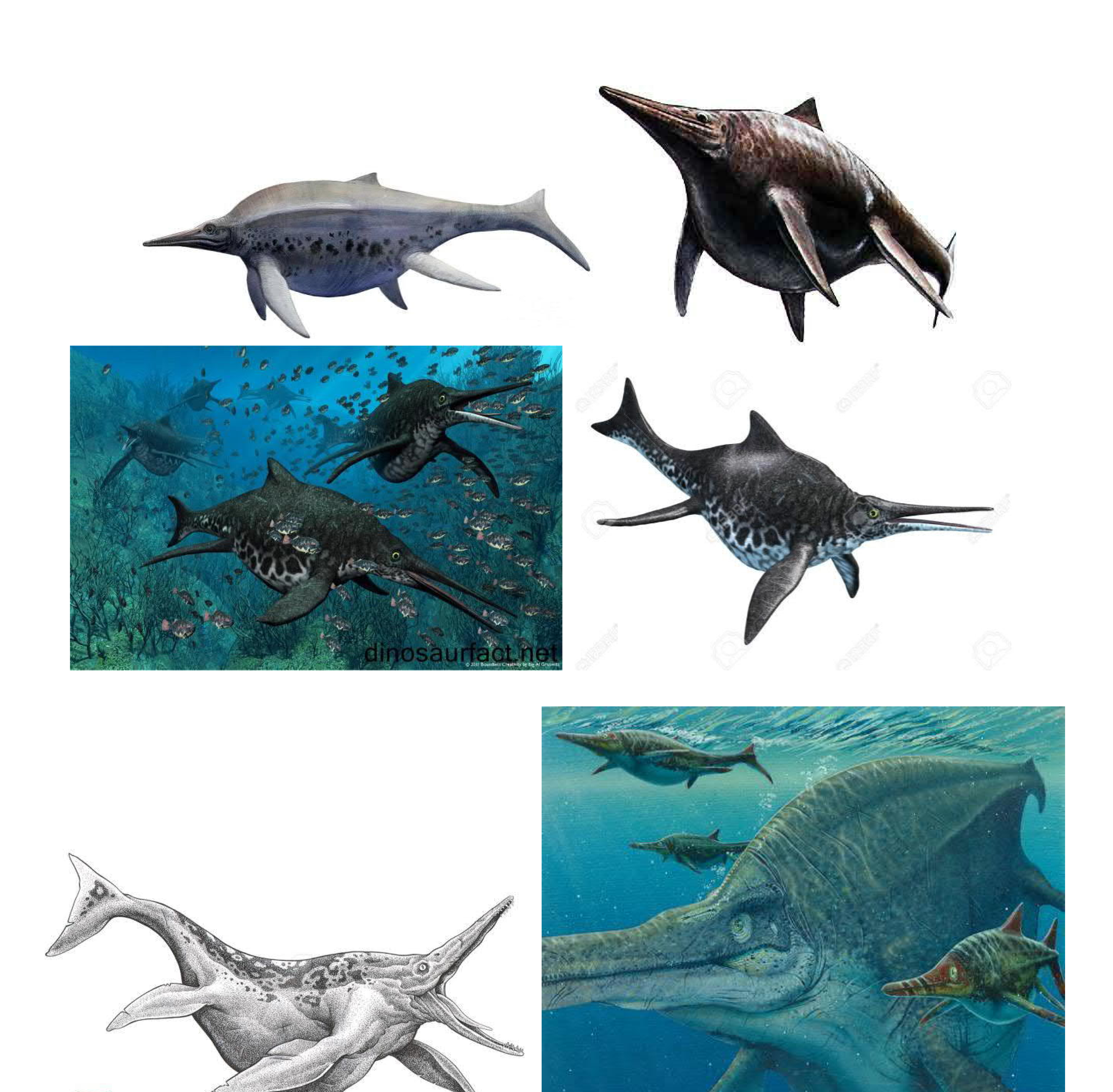




Shonisaurus sikanniensis: 21 meters (70 feet)

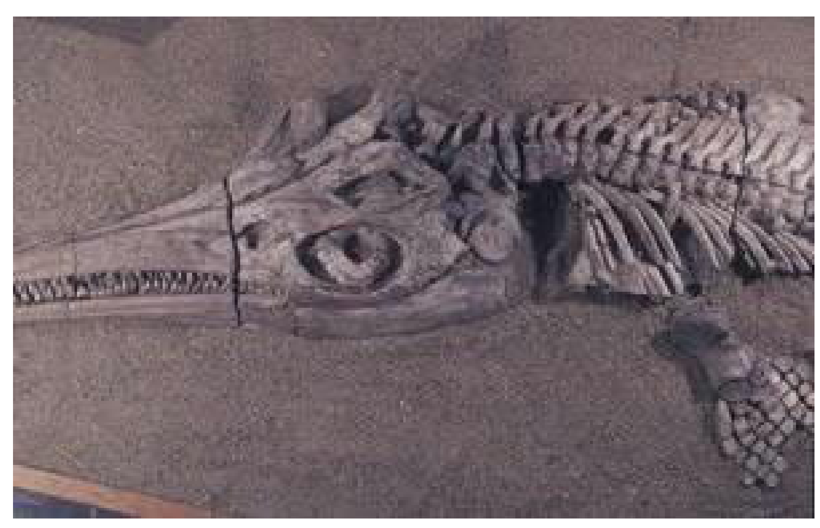
Shonisaurus popularis: 15 meters (50 feet)

Homo sapiens (male): 1.8 meters (6 feet)



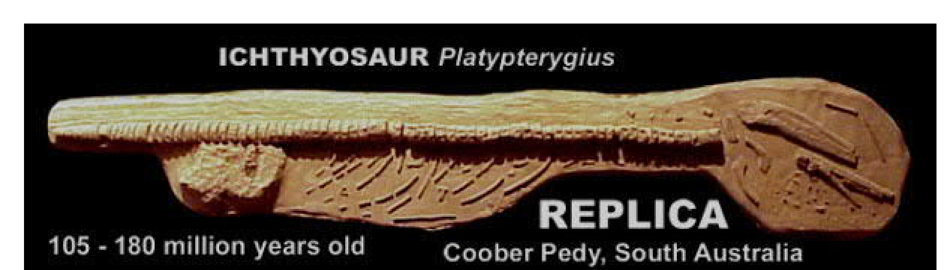
Shonisaurus [زاحف جبل شوشون السمكي الشكل]

كانت الزواحف السمكية الأشكال الخاصة بالعصر الجوارسي وفيرة الأعداد ومتنوعة، لكنْ كان هناك نوع واحد فقط زاحف سمكي الشكل في العصر الطباشيري، وهو Platypterygius [ذو الزعانف المسطحة المفلطحة، حيث كان لديه أصابع في زعنفتيه الأماميتين أكثر من المعتاد في الزواحف ذوات الأشكال السمكية، وكانت متصلة ببعضها في تلاصق، مما أعطى الزعنفة مظهرًا مسطحًا عريضًا، وهذه السمة الغير معتادة أعطت لهذا الجنس اسمه]. كان قد فقد الذيل الطويل لأجل تسارع سريع، وبدلًا من الأطراف الزعنفية كان لديه زعانف كبيرة معدَّلة. هذا يقترح أنه كان ذا أسلوب صيد يقوم على المطاردة أكثر مما كان لدى معظم باقي الزواحف السمكية الأشكال ichthyosaurs الأقدم. لعله قد استخدم زعانفه المحورة عن أطراف كأجنحة تحت مائية للدفع والتسيير بدلًا من التوجيه والقيادة، بنفس الأسلوب الذي تستعمله السلاحف والبطاريق والذي أعيد إنشاءه وتصوره بالنسبة لبعض الـ plesiosaurs [الزواحف المائية ذوات الشكل الأقرب إلى الزواحف البرية مما كانت عليه ichthyosaurs، ومعنى الاسم الحرفي: سحلية تقريبًا].

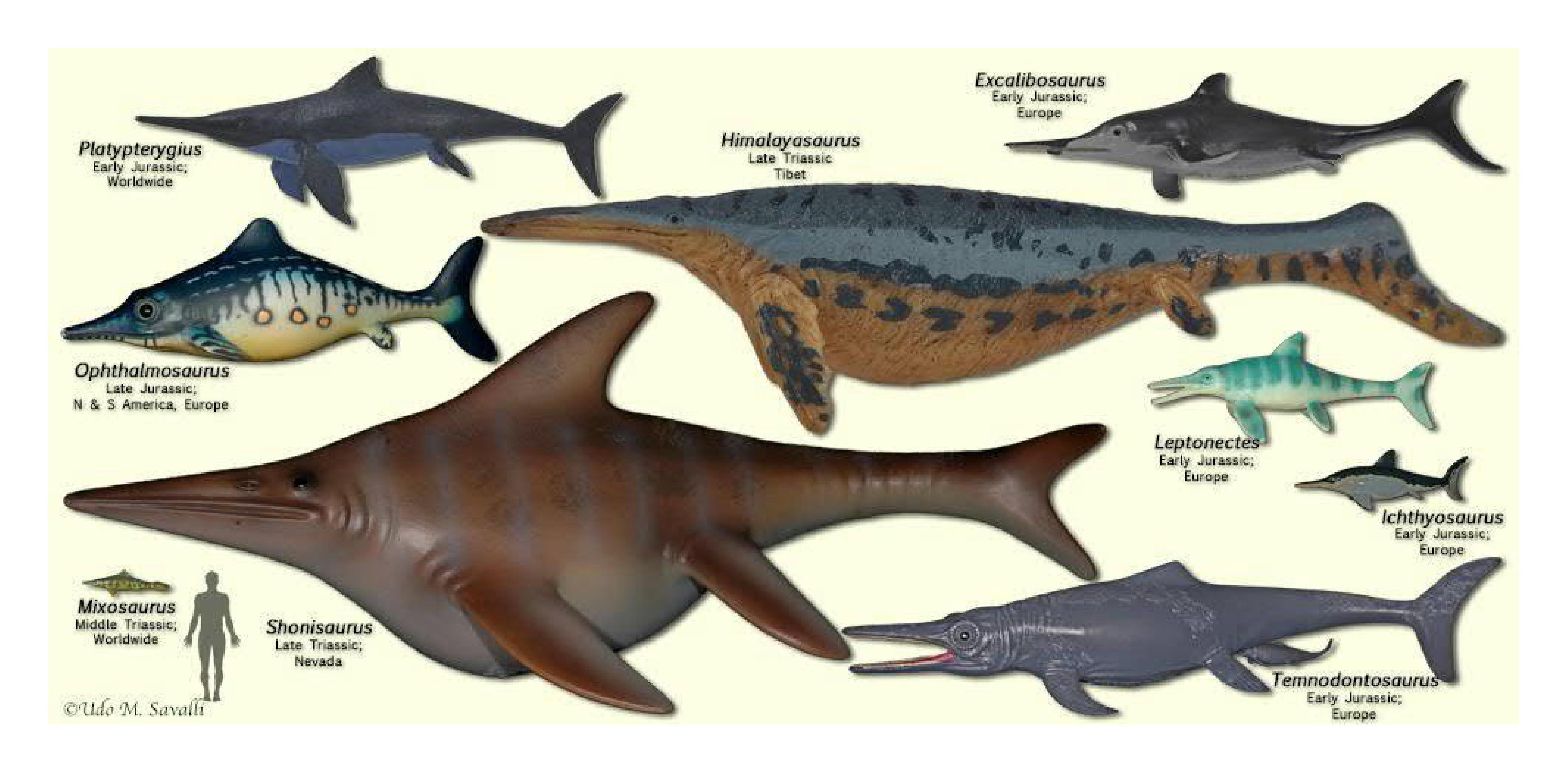
Platyptergius – Queensland Museum

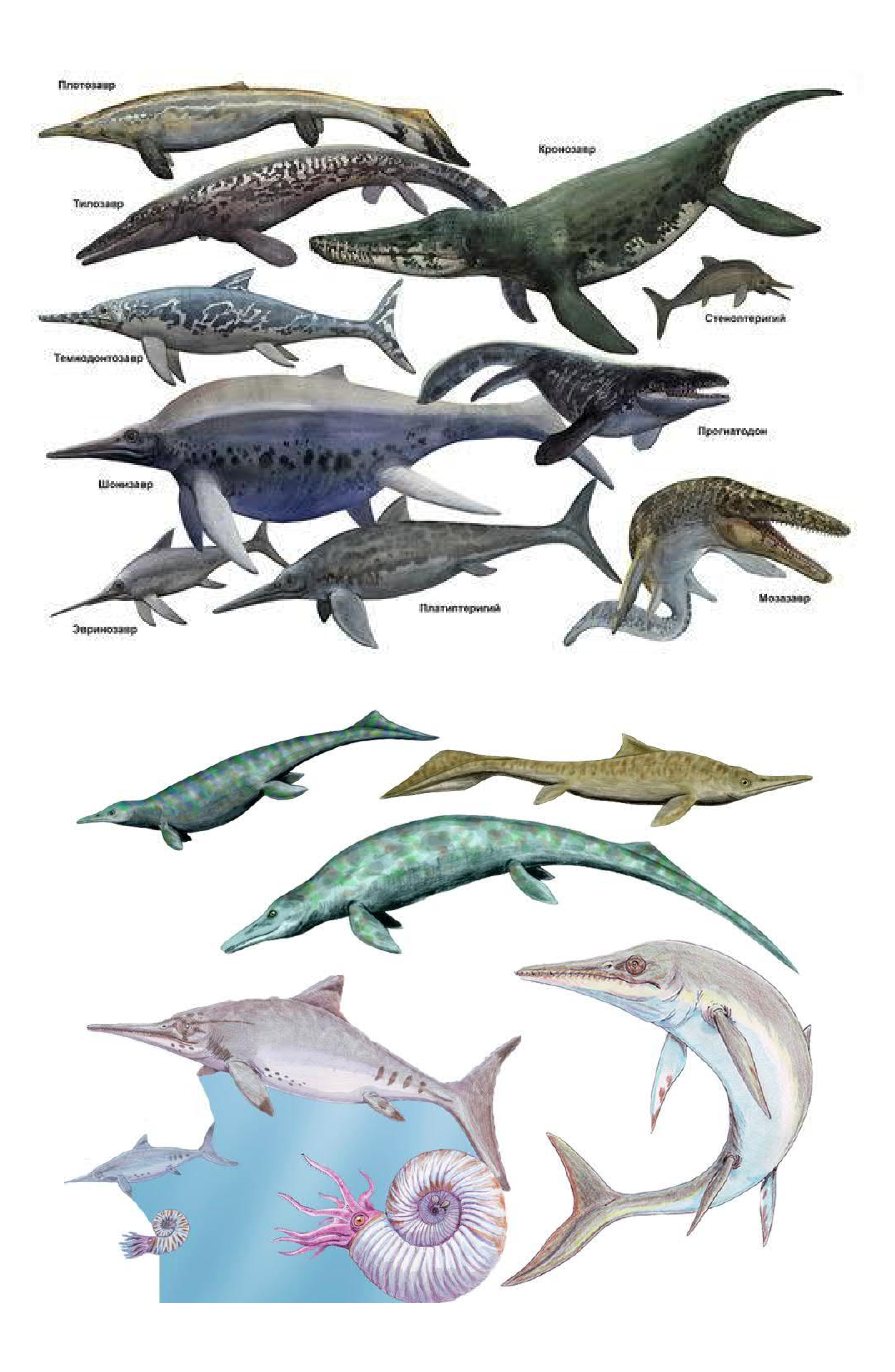


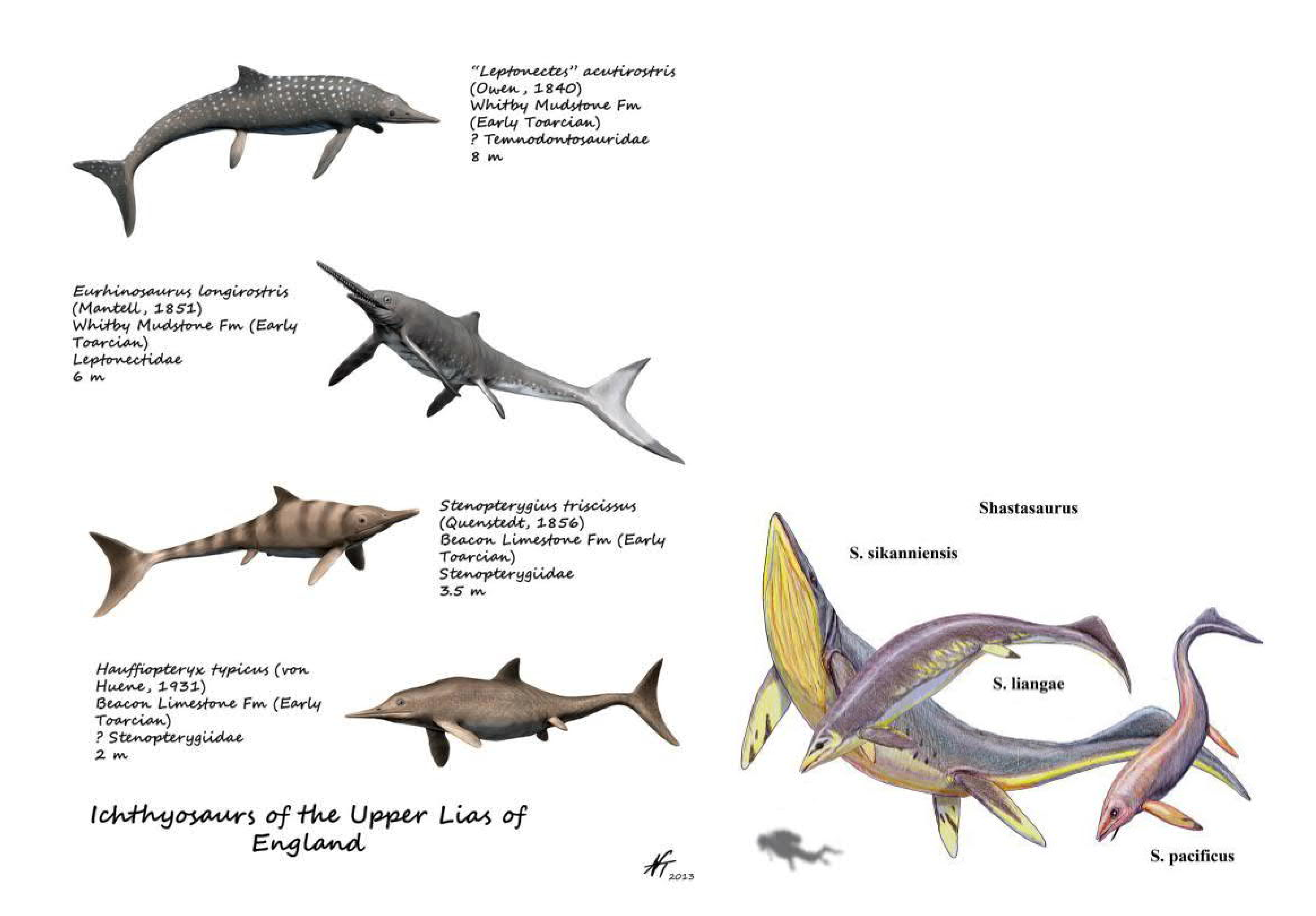


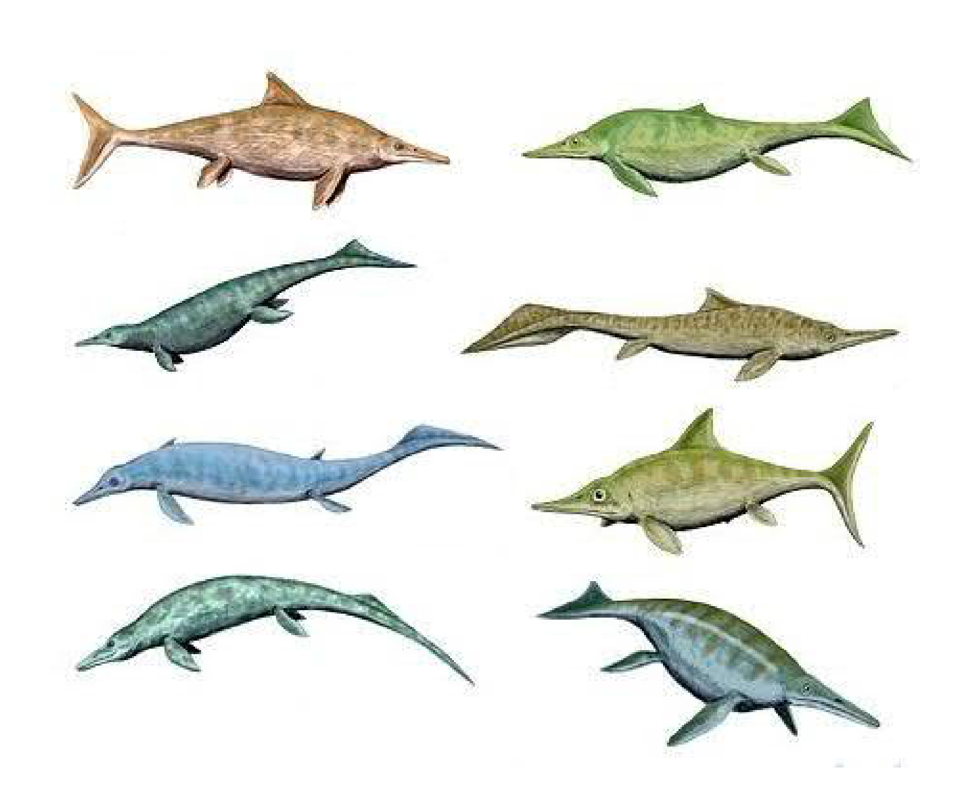



Platypterygius [ذو الزعانف المسطحة المفلطحة]

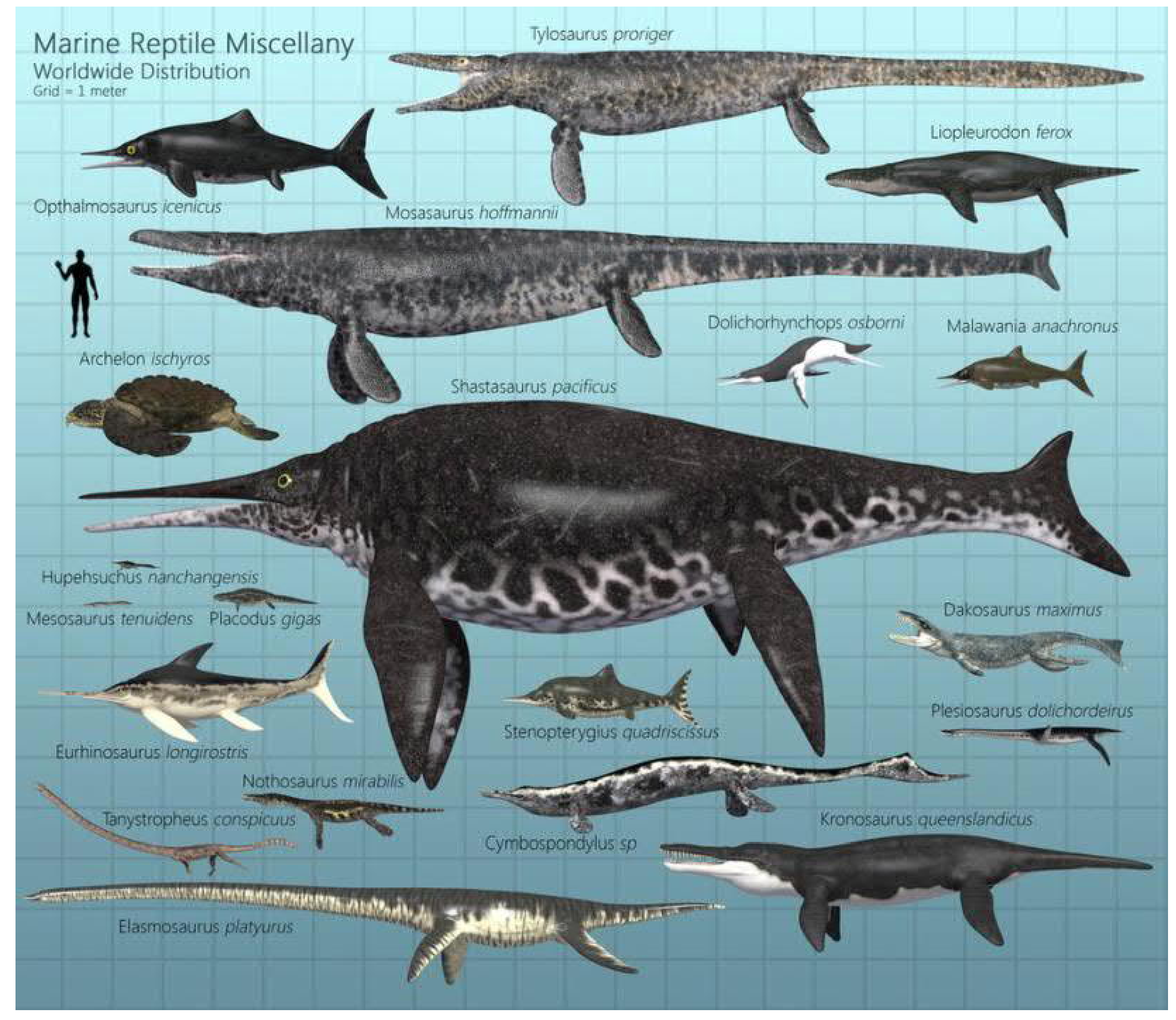



Плотозавр
Кронозавр
Тилозавр
Стеноптеригий
Темнодонтозавр
Прогнатодон
Шонизавр
Мозазавр
Платиптеригий
Эвринозавр

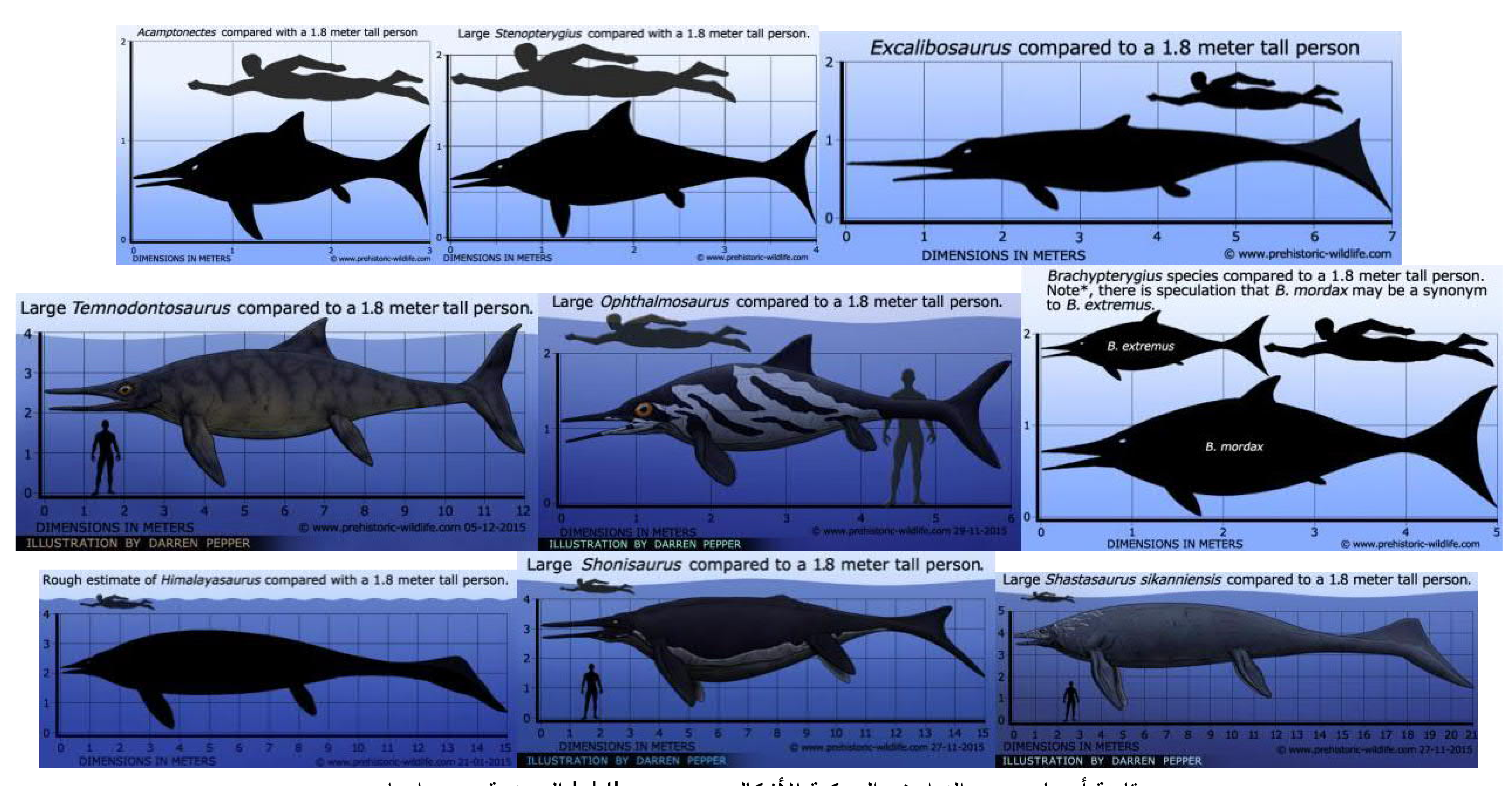




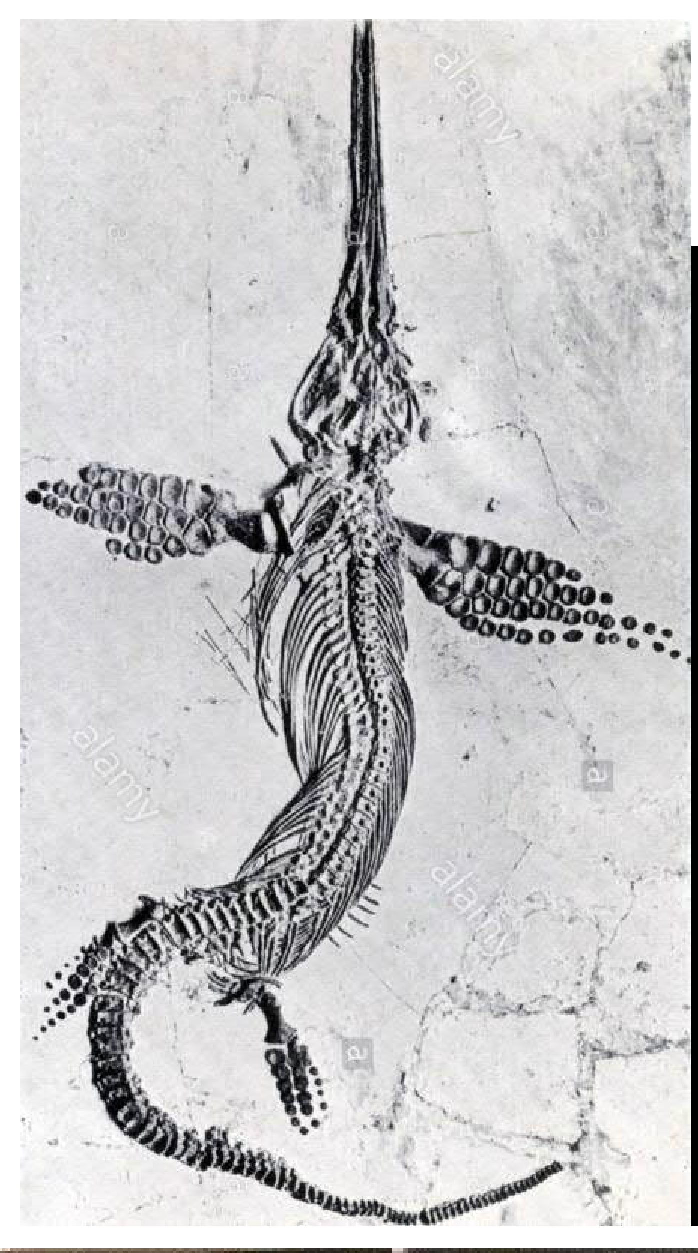
الزواحف السمكية الأشكال Ichthyosaurs



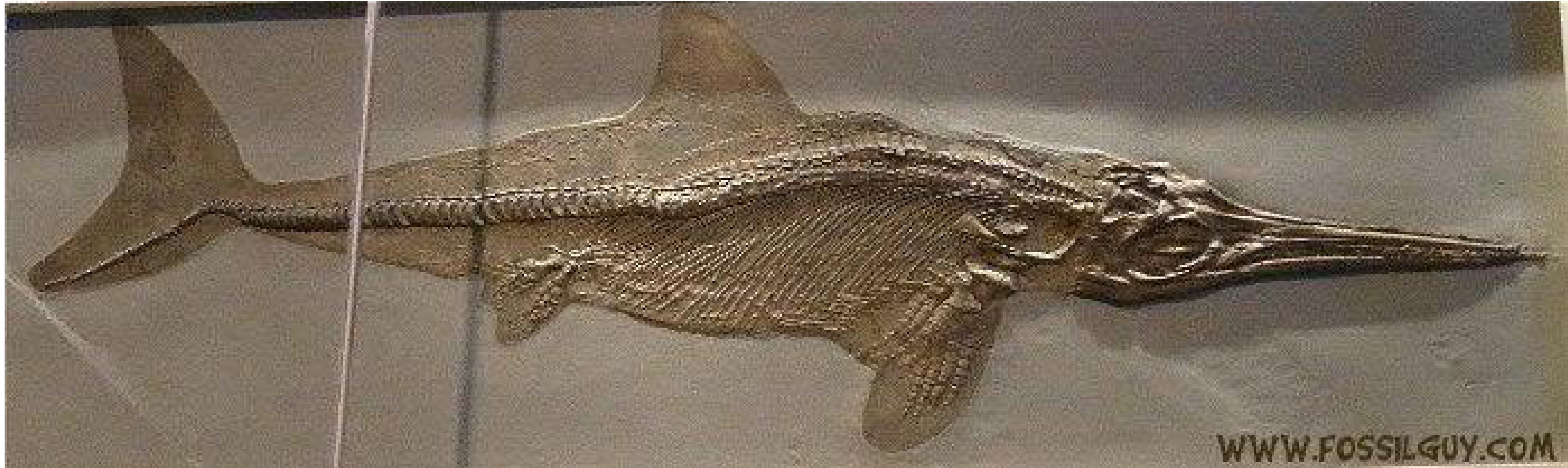
الزواحف السمكية الأشكال Ichthyosaurs مع أنواع زواحف مائية أخرى

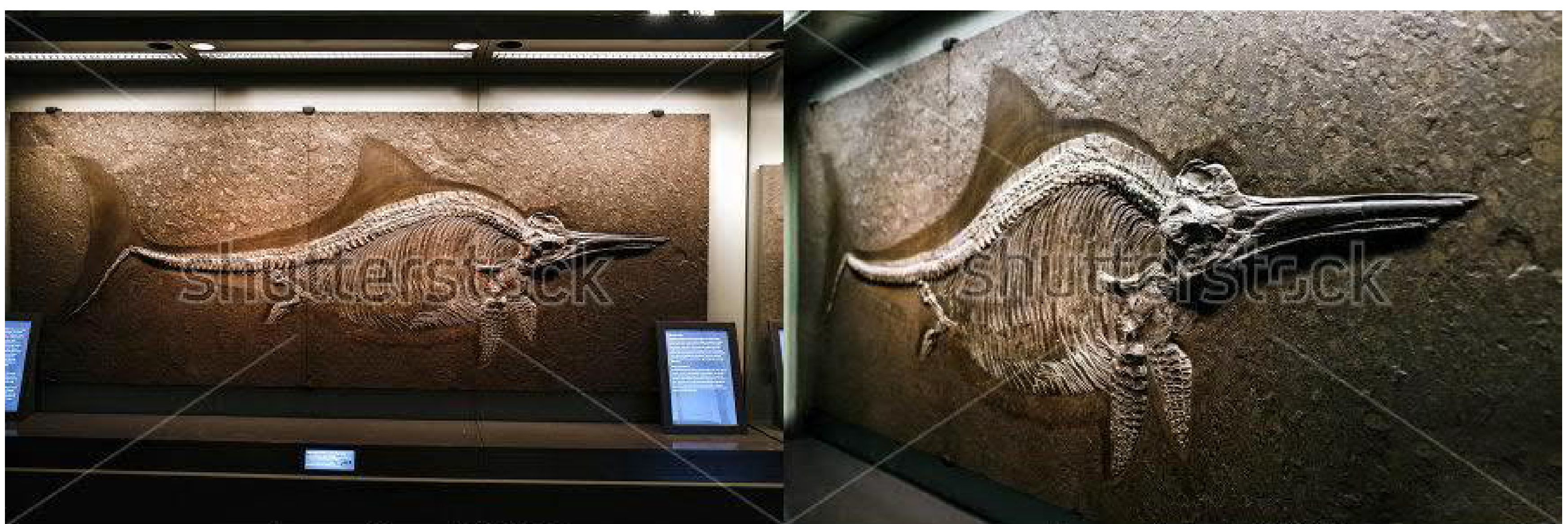


مقارنة أحجام بعض الزواحف السمكية الأشكال Ichthyosaurs الضخمة بحجم إنسان






WWW.FOSSILGUY.COM



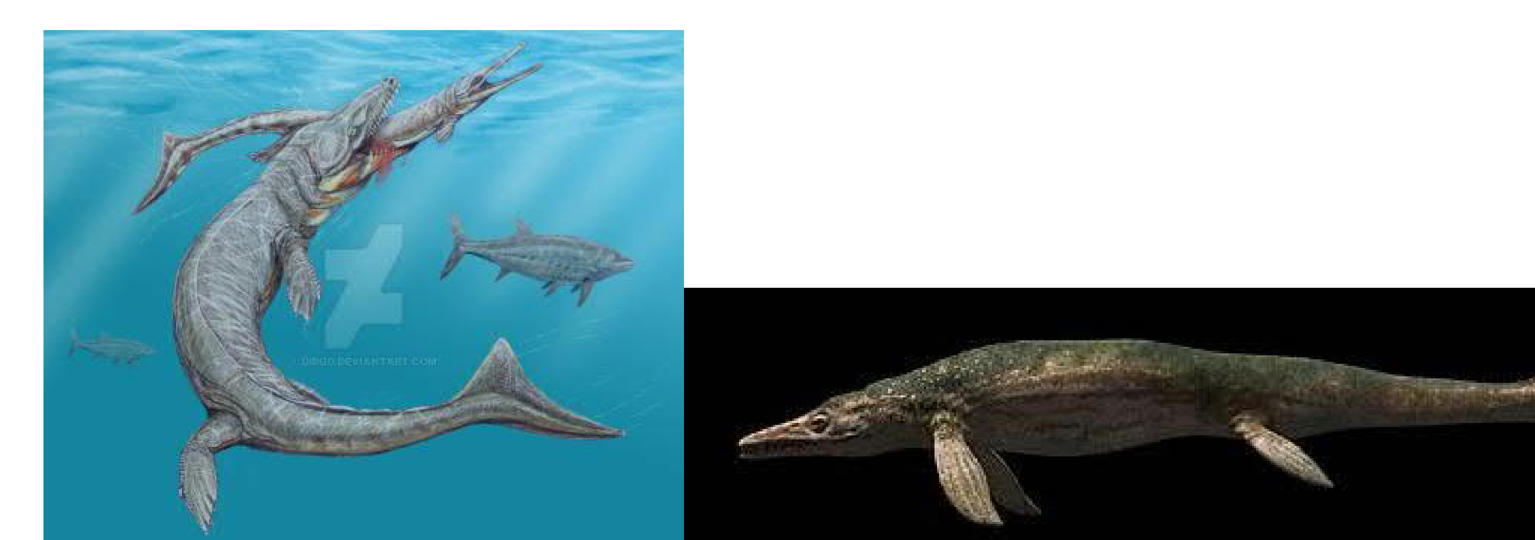
بعض متحجرات النوع ichthyosaurus





بعض متحجرات Stenopterygius [ذي الزعانف الضيقة]

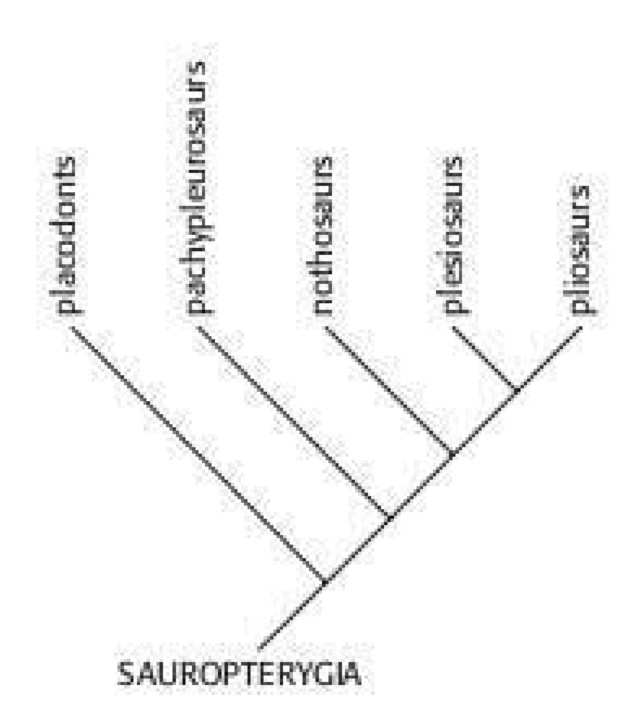




بعض صور إعادات بناء لأنواع عديدة من الزواحف السمكية الأشكال Ichthyosaurs

Sauropterygians [فصيلة أخرى من الزواحف المائية يعني اسمها الزواحف ذوات الزعانف]

كانت الـ Sauropterygians [فصيلة أخرى من الزواحف المائية يعني اسمها الزواحف ذوات الزعانف] فرع تطوري كبير (المخطط التطوري ١٤- ٦) من الزواحف التي يمكن تتبع أسلافها زمنيًا إلى الزواحف ذوات الثقبين القاعدية basal من العصر البرمي (الفصل ١١). كان للـ Sauropterygians في العادة أطراف كبيرة بالنسبة لحيوانات برية تطورت للحياة في الماء (قارن مثلًا مع التمسايح والفقمات والحيتان). كان لمعظمها رؤوس صغيرة ورؤوس طويلة نسبيًا بالنسبة لأحجام أجسادها، بالتالي لا بد أن فرائسها (يُحتمَل أنها كانت أسماكًا) كانت صغيرة نسبيًا.



الشكل ١٤- ٦ مخطط تطوري للـ sauropterygians، والتي تتضمن بعض أكثر الزواحف البحرية روعة من دهر الحياة الوسيطة.

Placodonts ذوات الأسنان المسطحة أو المشطيّة

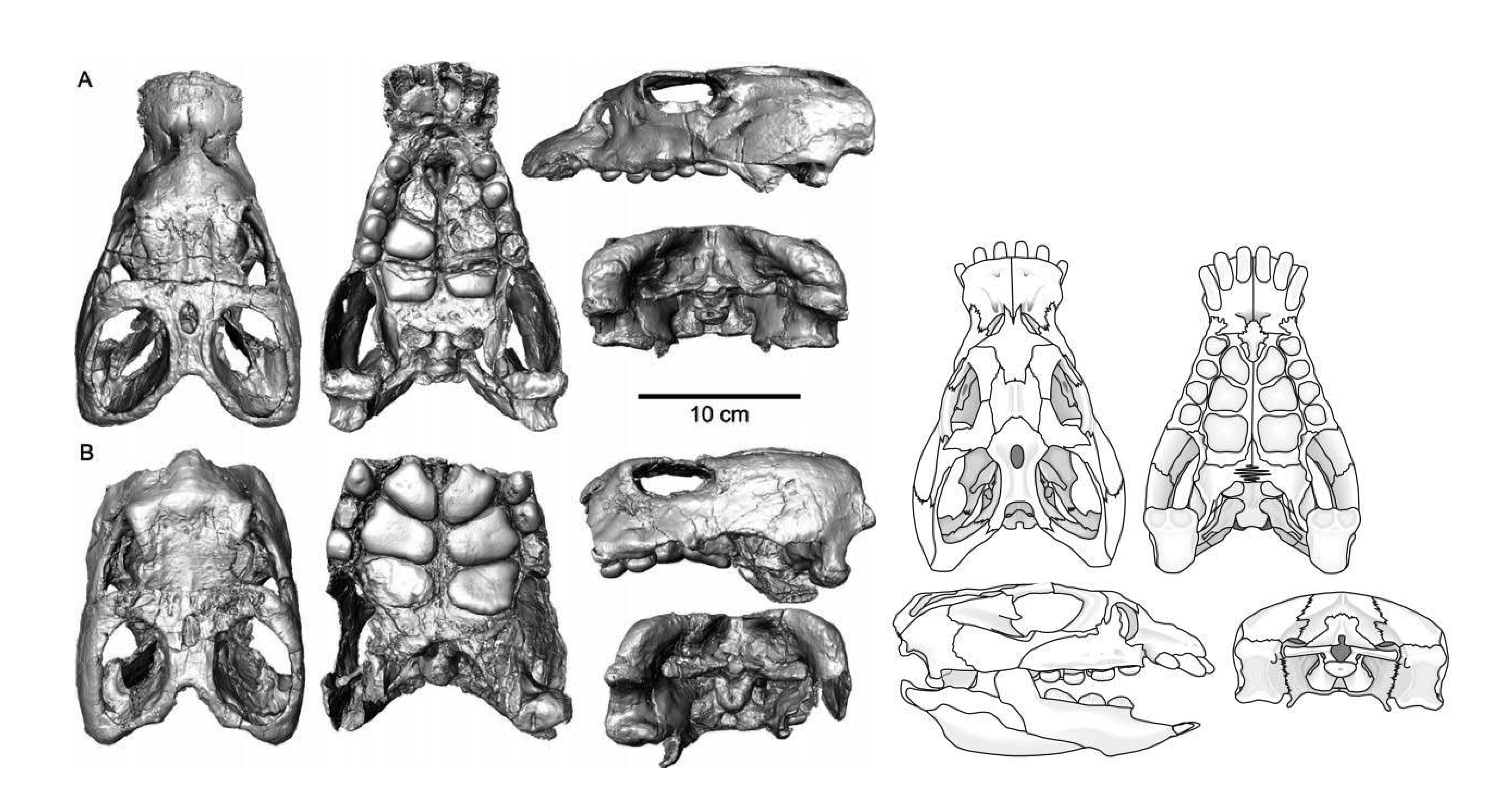
Pachypleurosaurs ذوات الضلوع السميكة

Nothosaurs الزواحف المائية الشبيهة بالسحالي أو حرفيًّا السحالي الزائفة

Plesiosaurs الزواحف المائية ذوات الشكل الأقرب إلى الزواحف البرية مما كانت عليه ichthyosaurs

Pliosaurs زواحف العصر البليوسيني

كانت **Placodonts** [ذوات الأسنان المسطحة أو المشطية] sauropterygians [سوروتريجِيَّات أو من الزواحف ذوات الزعانف] مبكرة لكنها متخصصة جدًّا معروفة فقط من صخور العصر الترياسي في أورُبا؛ بعبارة أخرى: فقد كانت فرعًا مبكرًا من الجزء القاعدي من فرع sauropterygians [سوروتريجيَّات] (راجع المخطط التطوري ١٤- ٦). لقد كان لديها مجموعتها الخاصة بها من التكيفات التي ربما تدل على إيكولُجِيَّة [طريقة اعتياش ووظيفة بيئية] متخصصة شبيهة بالخاصة بحيوانات الفظ [أو فيلة البحر] الحية المعاصرة، والتي تغطس إلى قيعان البحر الضحلة لتنقِّبَ وتحطم أصداف حيوانات البطلينوس. كان للـ Placodus [ذي الأسنان المسطحة أو المشطية] نفسه [الذي منح الرتبةَ اسمَها] كان له أسنان غير معتادة تناسب هذه الطريقة من الحياة. استُعْمِلَتْ الأسنان الكبيرة الحجم الشبيهة بالمشط في مقدمة الفك (الصورة ١٤- ٧ أ) على الأرجح للتنقيب في قيعان البحار لالتقاط حيوانات البطلينوس، ويمكنه انتقاؤها بالتصفية بهز رأسه وفمه مفتوح. ثم كانت حيوانات البطلينوس المستخلَصة تُحطَّم بين أسنان طاحنة مسطحة في الفك السفلي والصفائح المسطحة على سطح الفم (الصورة ١٤- ٧ ب). لم تمتلك Placodonts [الزواحف البحرية المسطحة الأسنان] قدرة كبيرة على المناورة ولا سرعة كبيرة، وكان للعديد منها أغطية صفائحية ثقيلة غطت ظهورها وبطونها، أشبه بالسلاحف.



الصورة ١٤- ٦ جمجمة Placodus [ذي الأسنان المسطحة أو المشطية]، زاحف بحري من العصر الترياسي في جرمانيا والذي ربما كان له إيكولُجيّة أشبه بالخاصة بحيوانات الفظ أي فيلة البحر. والفك العلوي والسفلي للـ Placodus والتي يظهر فيها أسنان في الحنك ساحقة لأصداف البطلينوس، من عينتين متحجرتين له. السؤال ماذا كان يفعل بلسانه أثناء تلك العملية؟



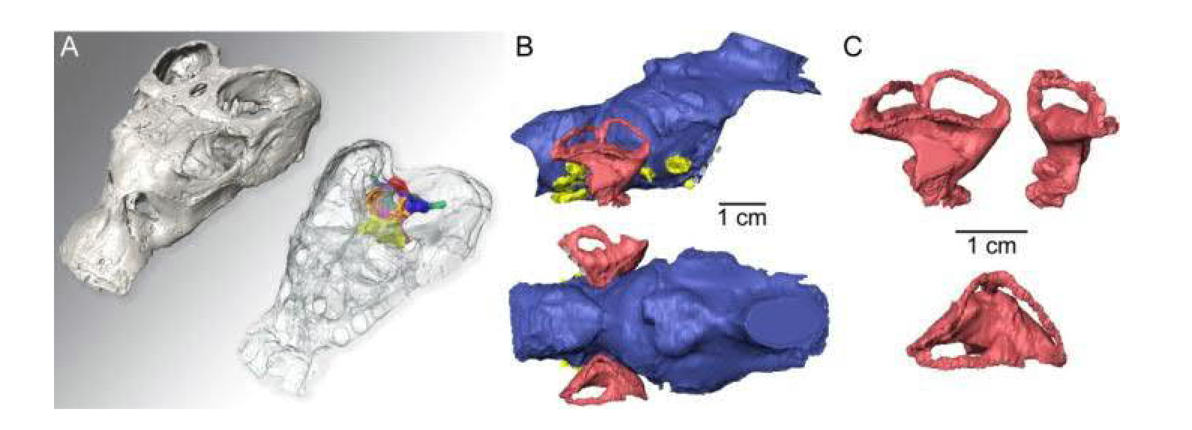
الفك العلوي والحنك الخاصان بـ Placodus giga [ذي الأسنان المسطحة أو المشطية]



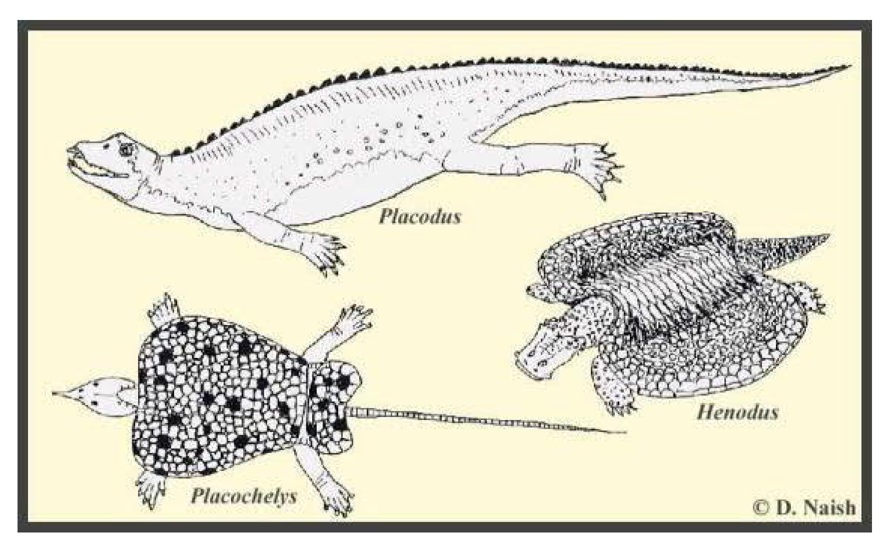
تشريح وإعادات بناء الفك العلوي والحنك الخاصين بـ Placodus giga [ذي الأسنان المسطحة أو المشطية]

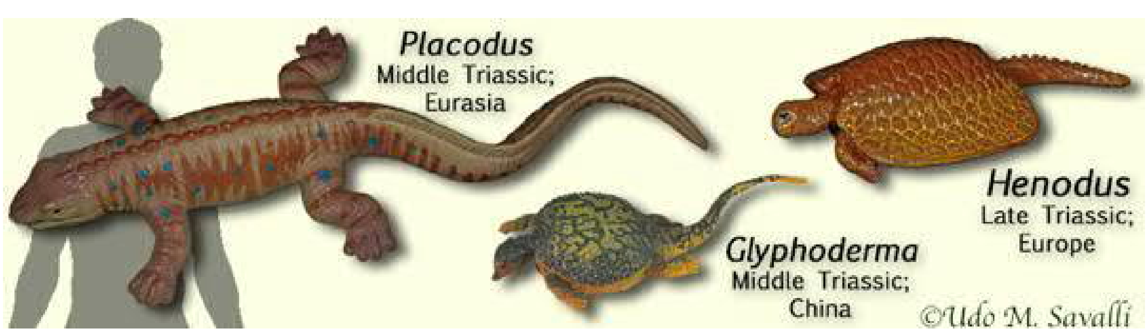
Placodus inexpectatus from Guanling, Guizhou Province, China.

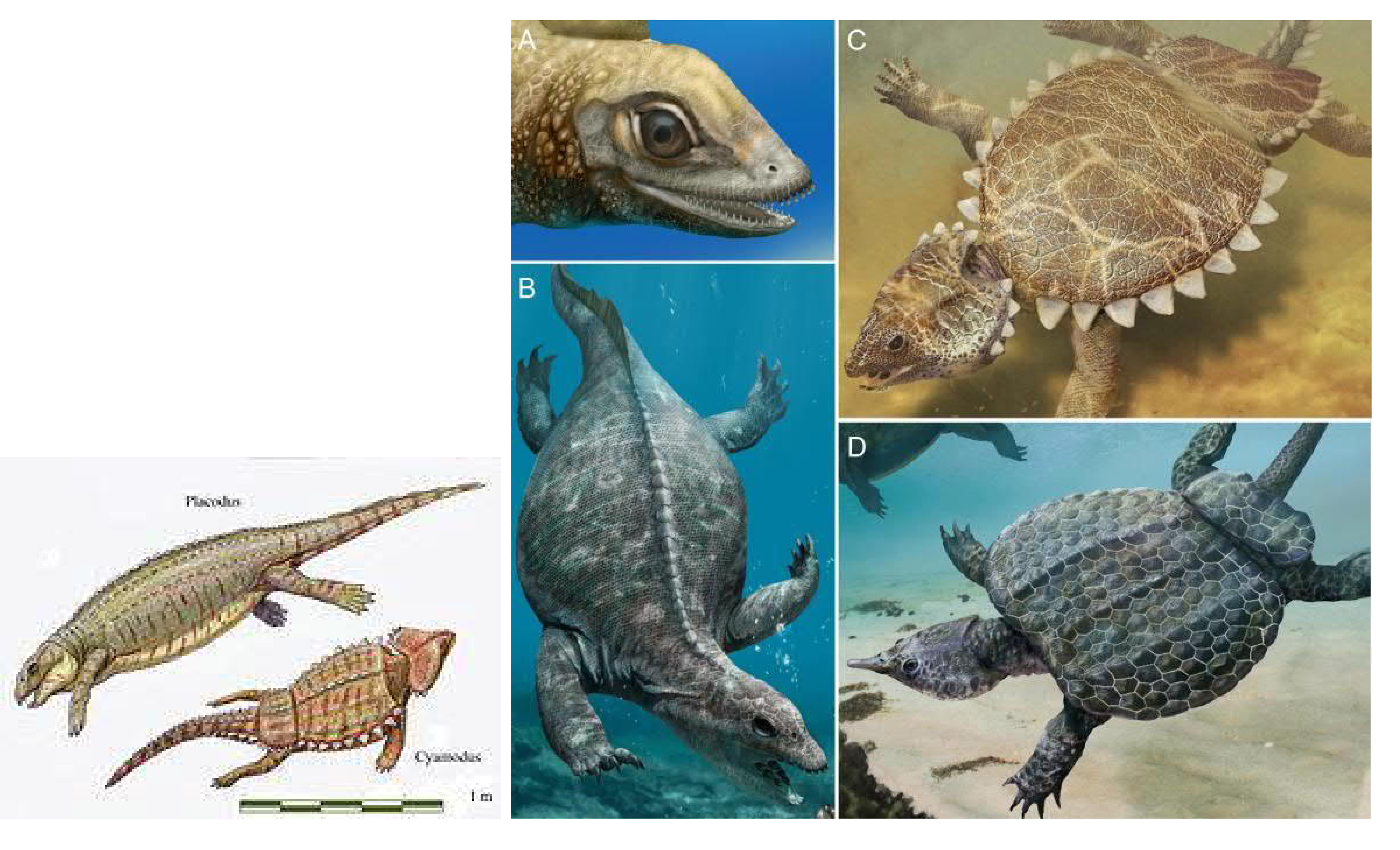
بعض متحجرات لـ Placodus giga ومتحجرة لـ Placodus inexpectatus [ذي الأسنان المسطحة أو المشطية]

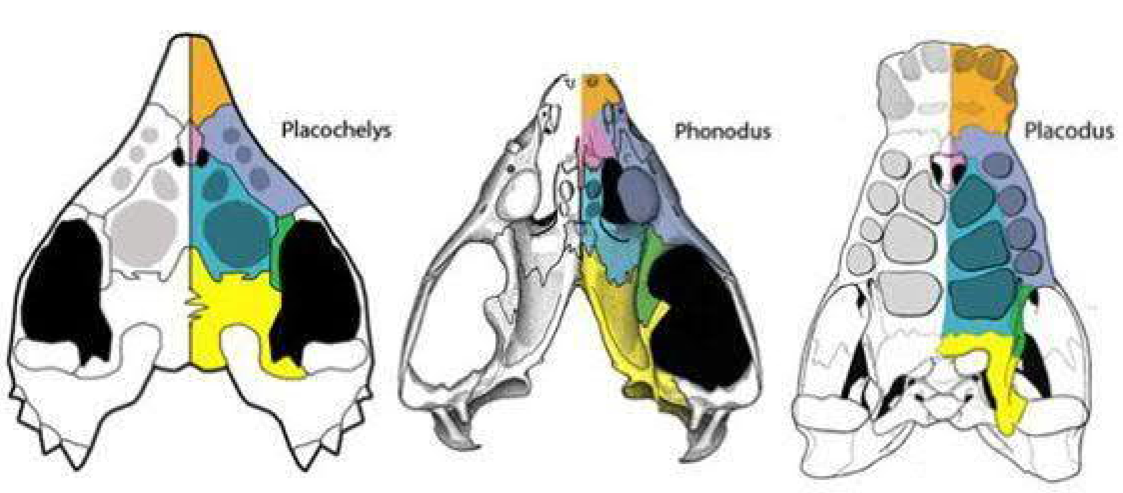


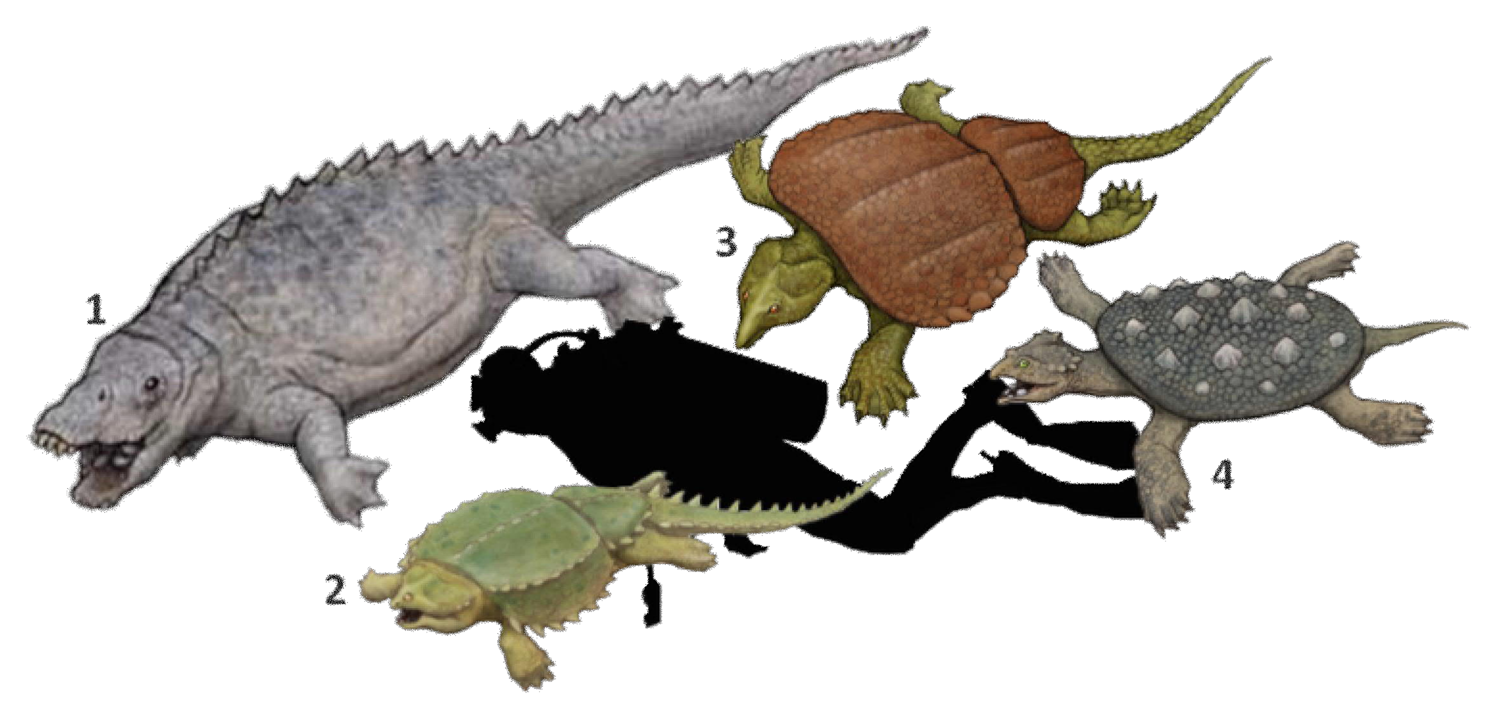
إعادة بناء لقحف جمجمة ومؤخر جمجمة والأذن الداخلية لـ Placodus









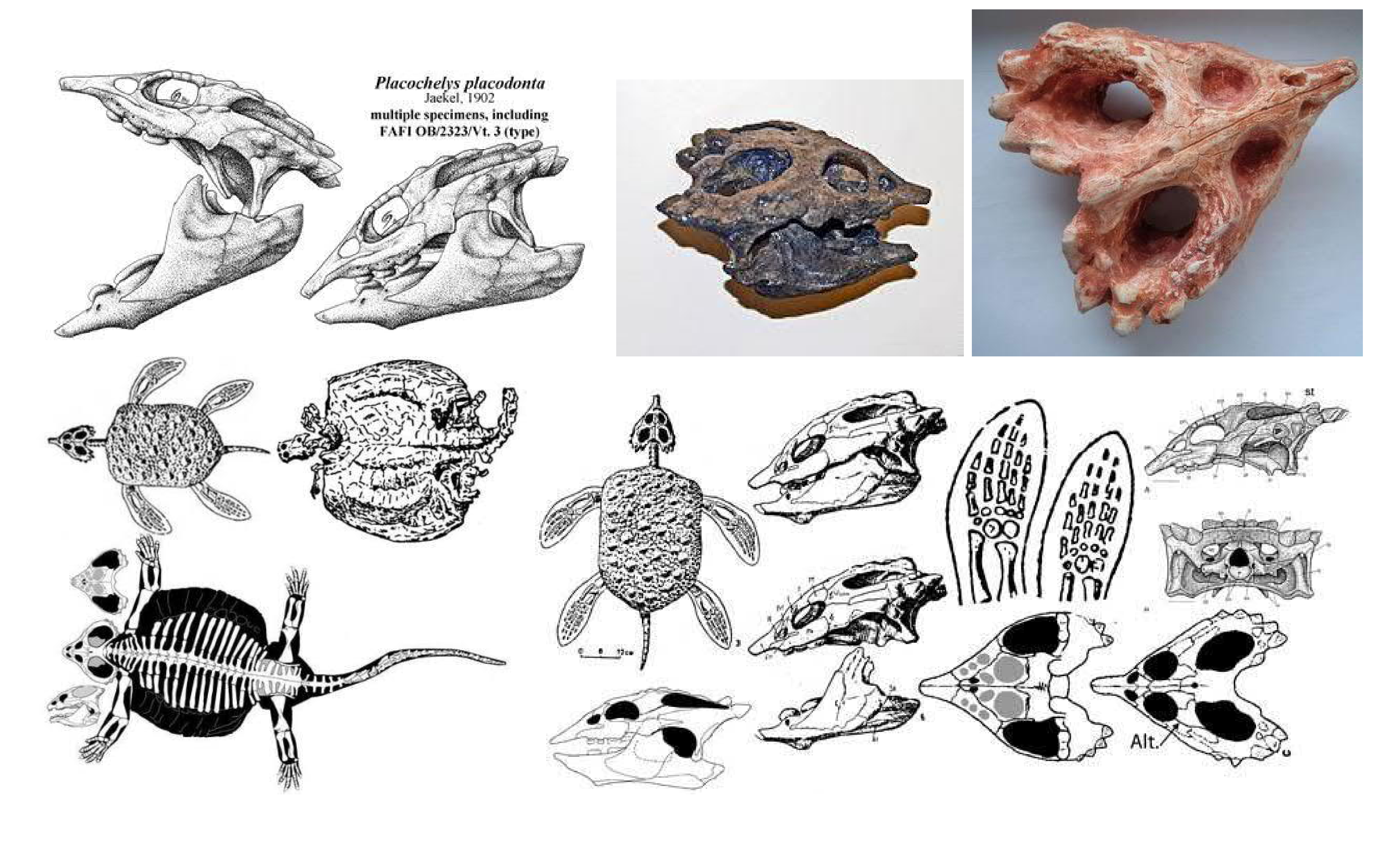


Placodonts ذوات الأسنان المسطحة أو المشطيّة

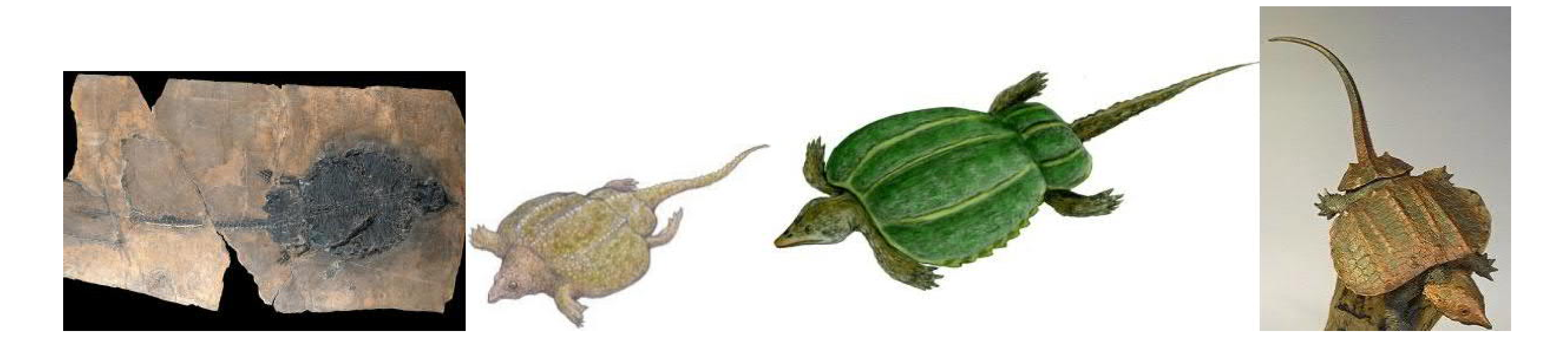
١.Placodus gigas ذو الأسنان المسطحة ٢. Cyamodus rostratus لم يستدل على معنى الاسم، هو ذو الأسنان الشبيهة بالفاصوليا أو اللوبيا ٣. Psephoderma alpinum ذو الجلد المليء بالنتاوئ ٤. Placochelys placodonta شبيه السلحفاة مسطح صفيحة الظهر.

إعادات بناء لـ Henodus chelyops [وحيدة السن الشبيهة بالسلحفاة]

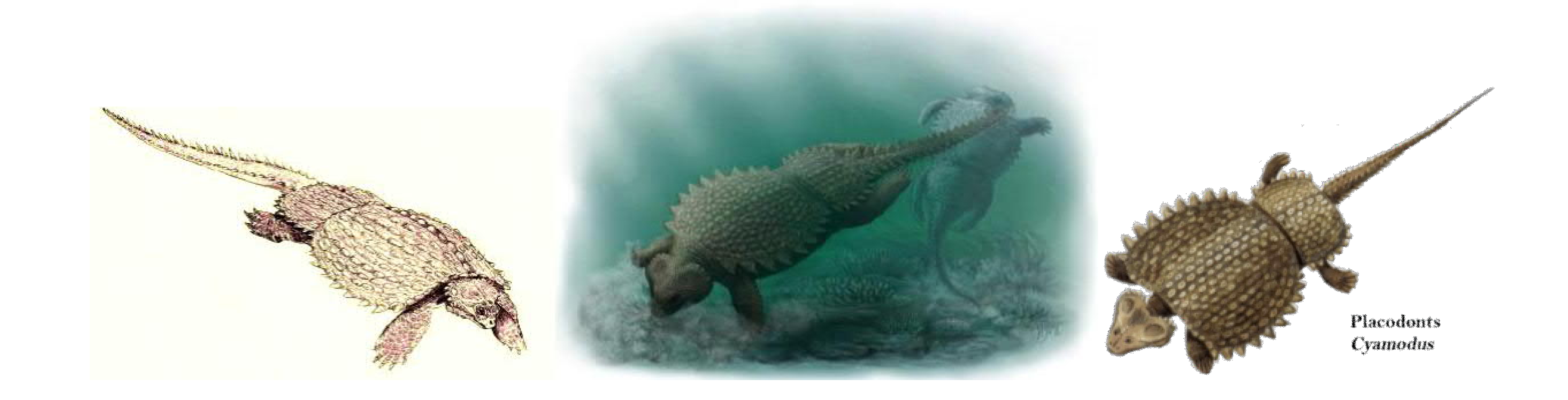
بعض متحجرات لـ Henodus chelyops [وحيدة السن الشبيهة بالسلحفاة]



Placochelys placodonta شبيه السلحفاة مسطح صفيحة الظهر.



Psephoderma [ذو الجلد المليء بالنتاوئ]

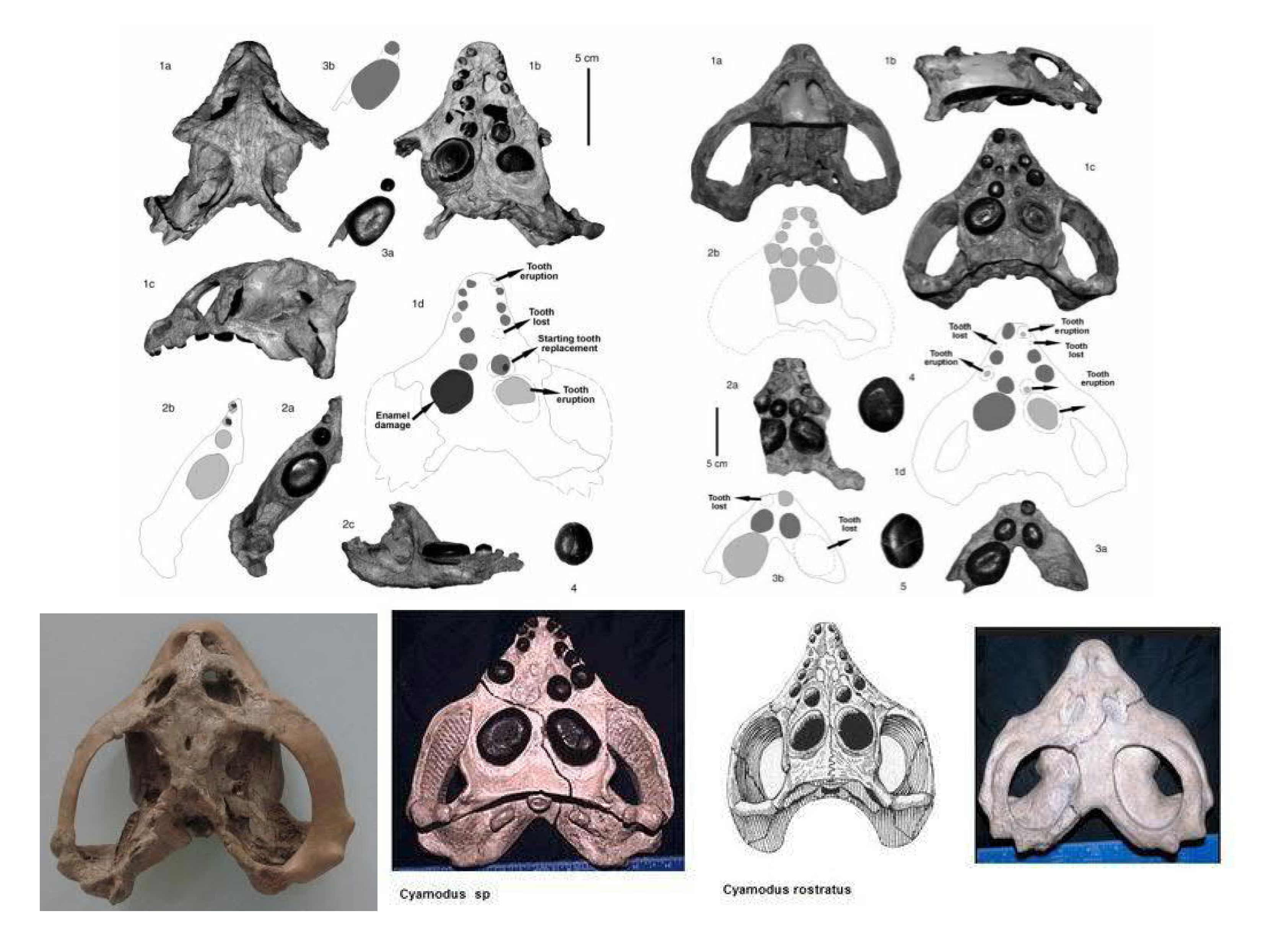






Sinocyamodus xinpuensis, from Guanlin, China

Cyamodus rostratus



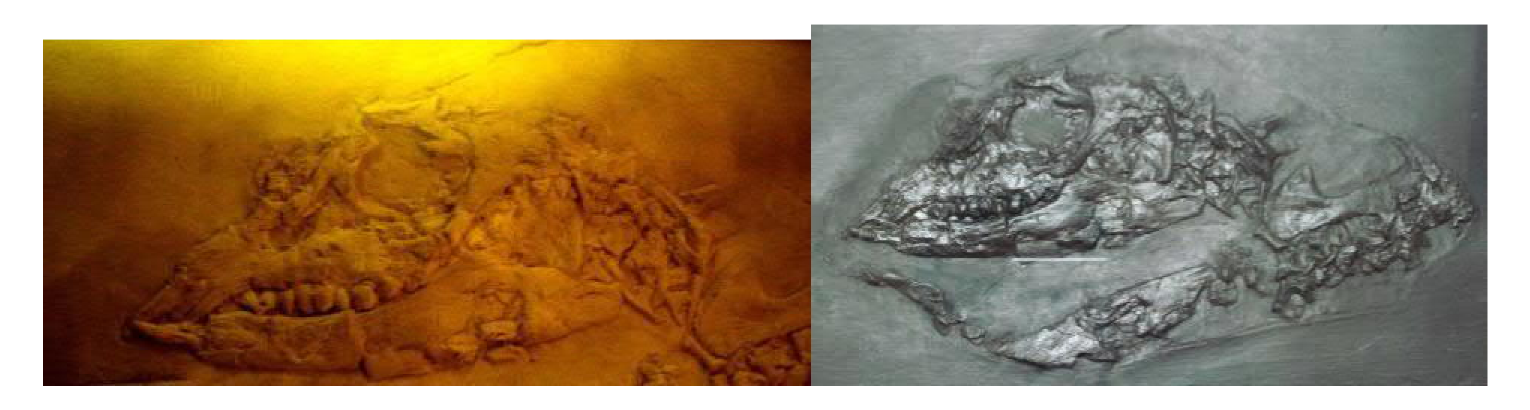
Cyamodus rostratus لم يستدل على معنى الاسم، هو ذو الأسنان الشبيهة بالفاصوليا أو اللوبيا



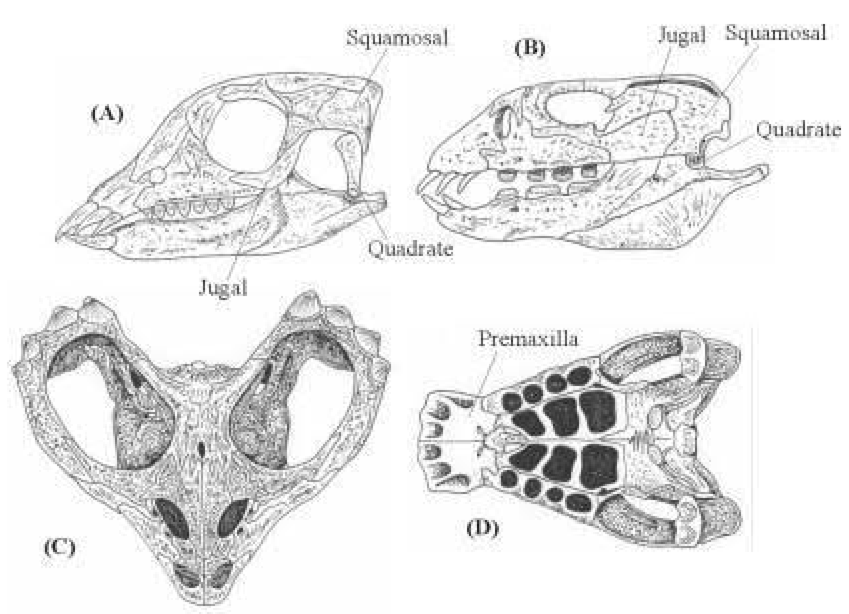
Macroplacus raeticus [ذو صف الأسنان المسطحة على العظمة الحنكية في الحنك]



Paraplacodus broilii from Monte San Giorgio, Switzerland. Photo courtesy of PIMUZ. B,



Paraplacodus الشبيه بالـ placodus أو حرفيًّا: placodus تقريبًا. وهو من الزواحف مسطحة الأسنان الأَوَّلِيَّة البدائية Proto- Placodonts



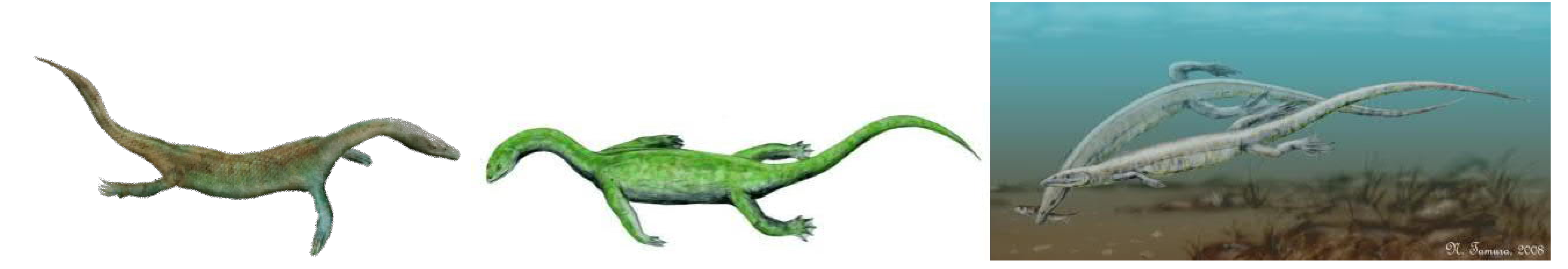
Some representative placodont skulls. (A) Skull of the basal placodont Paraplacodus broilii. The emargination between the jugal and quadrate indicates that placodonts descended from diapsid reptiles with a laterotemporal fenestra enclosed ventrally by a bony bar. (B) Placodus gigas in lateral view. The enlargement of the jugal and squamosal in this form and other placodonts resulted in the loss of the ancestral ventral cheek emargination. (C) Cyamodus in dorsal view; note the enormous supratemporal fenestrae (= openings of skull). (D) Placodus gigas in ventral view to show the enlarged palatal teeth. The premaxillary teeth are absent in this specimen. Not drawn to the same scale throughout. Redrawn from Rieppel (1995, 2000) and Nosotti & Pinna

(أ) جمجمة Paraplacodus من مسطحات الأسنان الأوليَّة القاعدية. يدل الارتحال بين العظمة الوجنية والمربَّعية على أن مسطحات الأسنان تحدرت من زواحف ثنائية الثقبين الصدغيين ذوات نافذة خاصة بالمنطقة الصدغية المؤخرية (مناطق متجاورة في الأجزاء المؤخرة والعلوية والجانبية من الفصوص الصدغية التي تتضمن في عملية السمع عالية المستوى).

أما **Pachypleurosaurs** [الزواحف المائية ذوات الضلوع السميكة] فكانت أبسط الـ sauropterygians [السوروتِريجيَّات أو الزواحف المائية ذوات الزعانف] المبكِّرة من حيث البُنية، ولو أن لدينا عينات متحجرات جيدة منها فقط من العصر الترياسي الوسيط. لم تُكتَشَف بعدُ الأشكال الوسيطة بينها وبين أسلافها من العصر البرمي. كانت Pachypleurosaurs [الزواحف المائية ذوات الضلوع السميكة] زواحف مائية صغيرة الأحجام تُعرَف أفضل عيناتها من صخور العصر الترياسي الوسيط من جبال الألب، لكنها توجد أيضًا في الصين. توجد المئات من العينات المعروفة، لكن القليل منها فقط محفوظ

كمتحجرات على نحو جيد. لم تكن أطرافها قوية جدًا، وكانت تلك الكائنات معدلة للحياة للحياة في الماء من جهة أنها كانت تستطيع ثني وضغط أجسادها للوصول إلى مقاومة مائية منخفضة للغاية، وكان ذيلها قويًا. اعتمد أسلوب سباحة ذوات الضلوع السميكة Pachypleurosaurs بشدة على قوة ومرونة الجسد والذيل، ولو أن هذا لم يتضمن القفص الصدري؛ فقد كان لديها ضلوع سميكة يُفترَض أنها كوَّنَتْ صدرًا قويًّا صلبًا جدًّا. كان هذا التكيف حلًّا لمشكلة قيد كاريير Carrier's Constraint (راجع الفصل ١١) في كائنات سابحة نشيطة متنفسة للهواء. إني أظن أن ذوات الضلوع السميكة سبحت مثل سحالي الورل الحية المعاصرة، بتحريك الطرفين الأماميين مقابل القفص الصدري واستعمال الطرفين الخلفيين كدفَّتي توجيه. كان الطرفان الأماميان قصيرين لكنْ قويين، ربما لسحب الحيوان خارجًا إلى البر للتكاثر ووضع البيض.

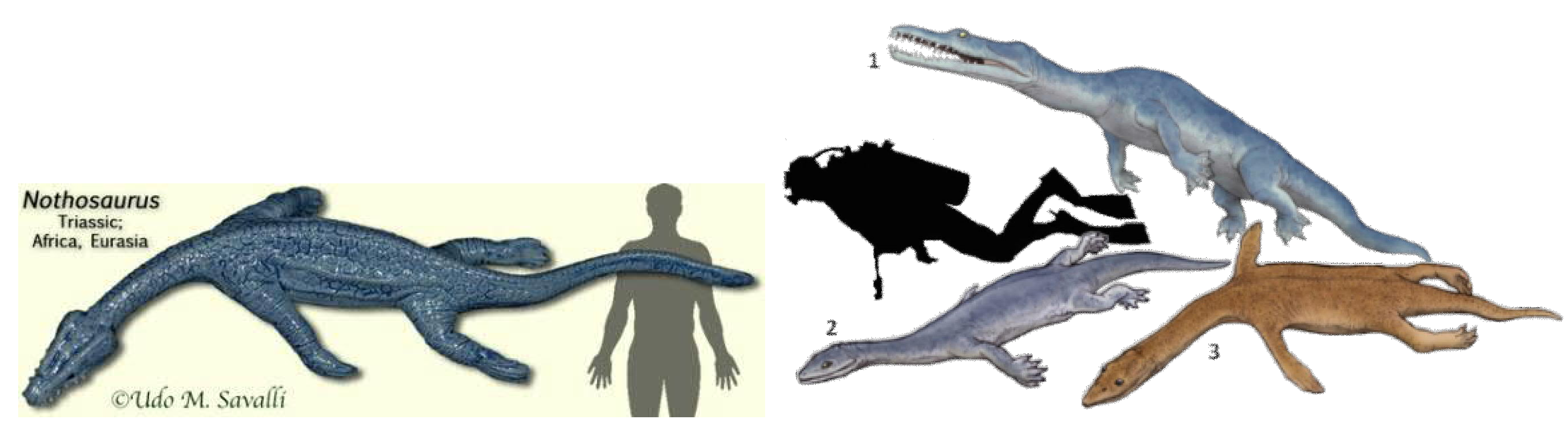
بعض متحجرات Pachypleurosaurs [الزواحف البحرية ذوات الضلوع السميكة]



إعادات بناء للأنواع pleurosaurus و Keichousaurus و Ceresiosaurus

وكانت **Nothosaurs** [الزواحف المائية الشبيهة بالسحالي أو حرفيًّا السحالي الزائفة] sauropterygians [زواحف مائية ذوات زعانف] من العصر الترياسي المتأخر أكثر تطورًا وتقدمًا. كانت كل الـ nothosaurs [الزواحف المائية الشبيهة بالسحالي] كبيرة الأحجام مقارنةً بأسلافها ذوات الضلوع السميكة pachypleurosaurs. لقد وسَّعَتْ الصدرَ الصلبَ الخاص بأسلافها ذوات الضلوع السميكة بتطوير الضلوع بحيث تمتد إلى الوراء على طول الجسد. بتصليب وتقوية أجسادها بهذه الطريقة، اعتمدت الـ nothosaurs [الزواحف المائية الشبيهة بالسحالي] أقل على الأرجح على الذيل للدفع مما اعتمدت عليه أسلافها ذوات الضلوع السميكة pachypleurosaurs، وقد كان لها أطرافٌ قوية ربما ساهمت في التعويض عن ذلك لتحقيق قوة السباحة.

لم يكن الطرفان الأماميان للـnothosaurs [الزواحف المائية الشبيهة بالسحالي] شبيهين بالجناحين في الحقيقة وربما استَعْمَلا حركة تجذيف لتقديم الدفع والتسيير. أما الطرفان الخلفيان فكانا قويين تمامًا لكنْ لم يكونا متكيفين خِصّيصًا لضربات السباحة (انظر الصورة ١٤– ٨).

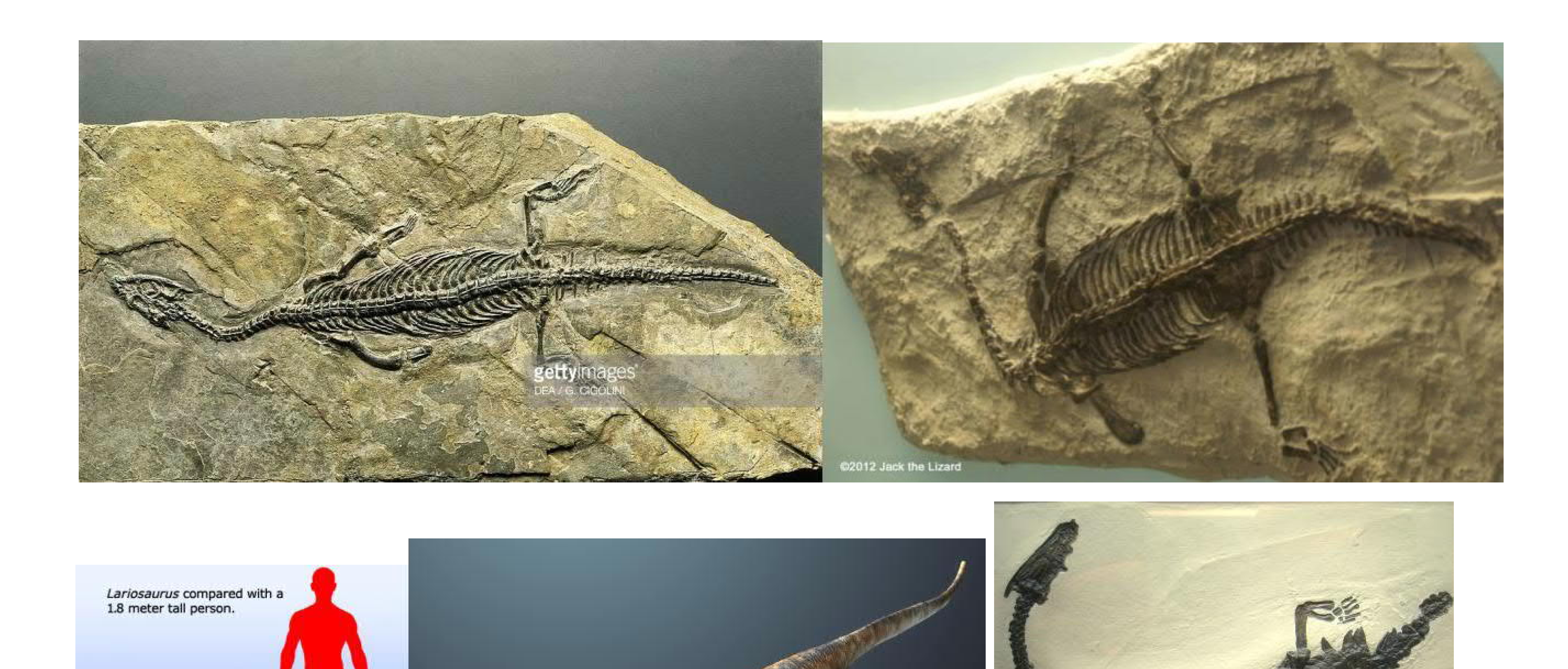


Nothosaurs [الزواحف المائية الشبيهة بالسحالي أو حرفيًّا السحالي الزائفة]



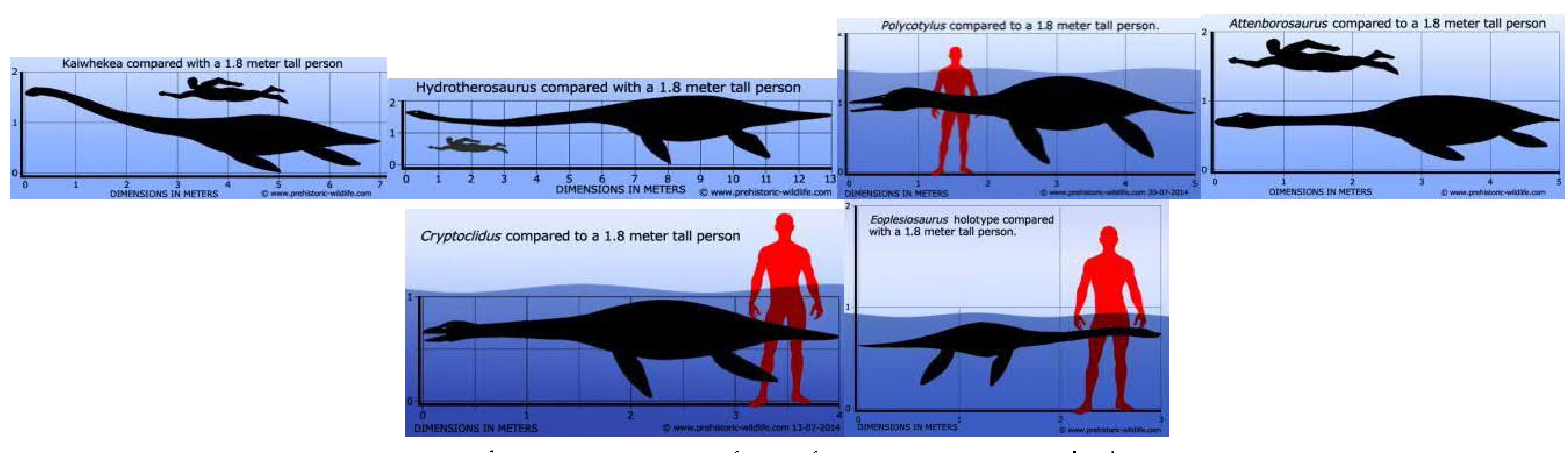
إعادات بناء لـ Nothosaurus

ثلاث متحجرات لـ Nothosaurus

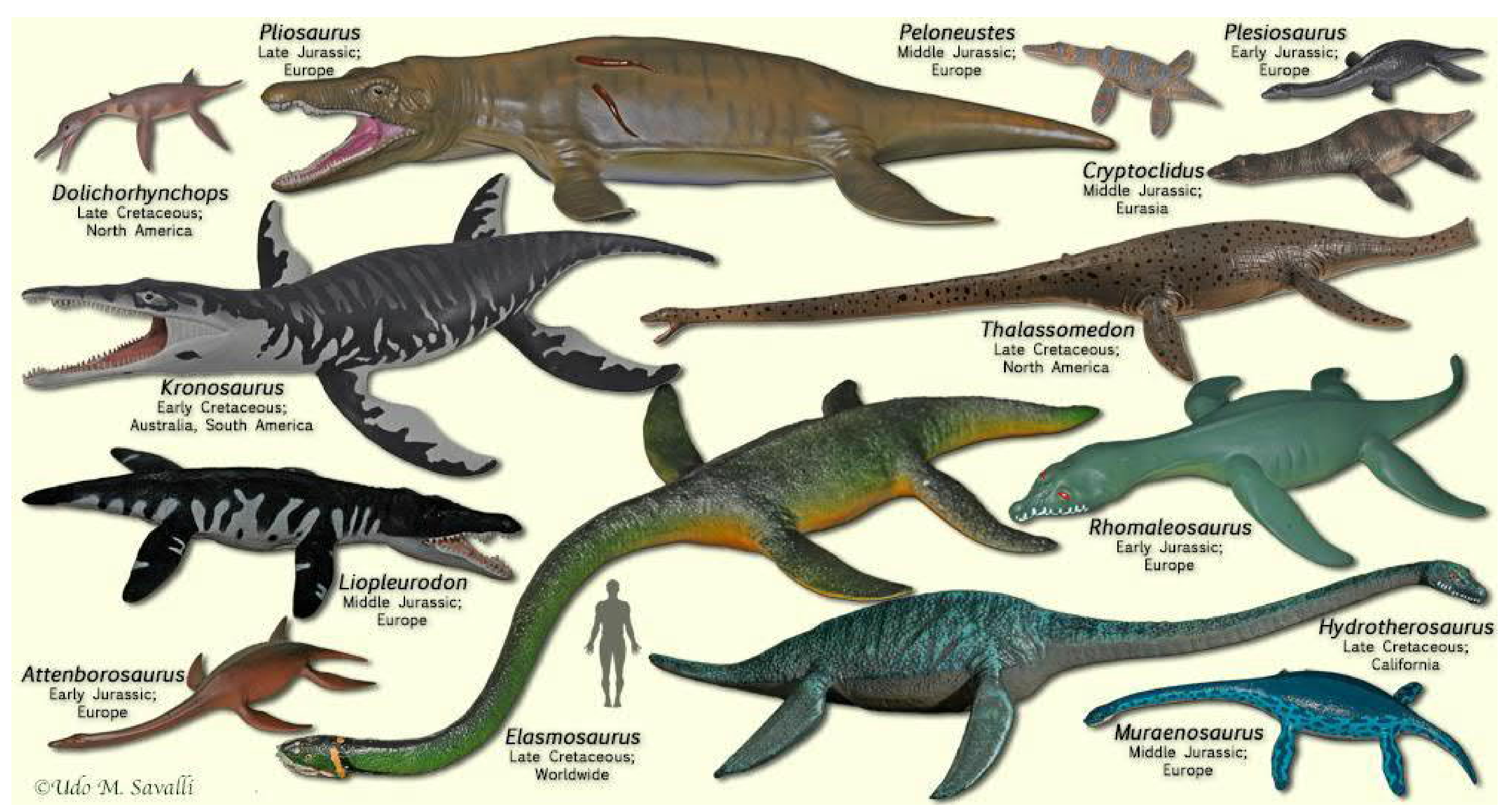


الصور ١٤– ٨ Lariosaurus [الزاحف الذي من بحيرة Larius وهو الاسم القديم لبحيرة كومو Como Lake]. من فصيلة nothosaurs من العصر الترياسي في سويسرا. كان طوله حوالي ٦٠ سم (قدمين)

تطورت مجموعةٌ أخرى من فصيلة nothosaurs [الزواحف المائية الشبيهة بالسحالي] في العصر الجوارسي إلى أكبر وأشهر فرع معروف من رتبة Sauropterygia [الزواحف ذوات الزعانف أو السوروتِريجيَّات]. وهي الـ **Plesiosauria** [الزواحف المائية ذوات الشكل الأقرب إلى الزواحف البرية مما كانت عليه ichthyosaurs، ومعنى الاسم حرفيًّا: قريب من السحلية]. كان للـ Plesiosauria أجساد كبيرة الأحجام وأطراف قوية جدًّا، متطورة جيدًا على نحوٍ متساوٍ في الأمام والخلف، ومعدَّلة بدرجة كبيرة للسباحة. لقد سبحت باستعمال كل أطرافها الأربعة التي استعملت الجسد المتصلب كقاعدة وأساس ميكانيكي صلب، في إضافة وتوسعة لأسلوب السباحة الخاص بالـ nothosaurs [الزواحف المائية الشبيهة بالسحالي]. كانت الأطراف مقوَّاة وأكثر تعديلًا للقيام بضربات سباحة فعّالة، فصارت في آخر الأمر أكثر أهمية بكثير من الذيل في السباحة. كان الفكان بهما تعديلات والتي تبدو متطورة على نحو جيد لأكل الأسماك.

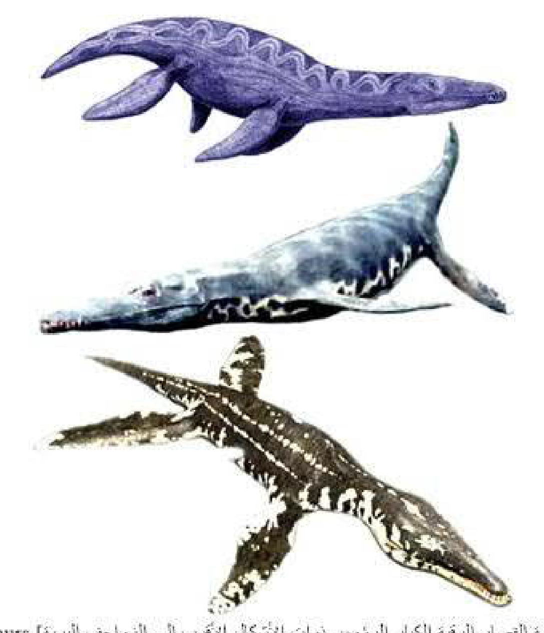


plesiosaurs [الزواحف المائية ذوات الأشكال الأقرب إلى الزواحف البرية] وأحجام بعضها

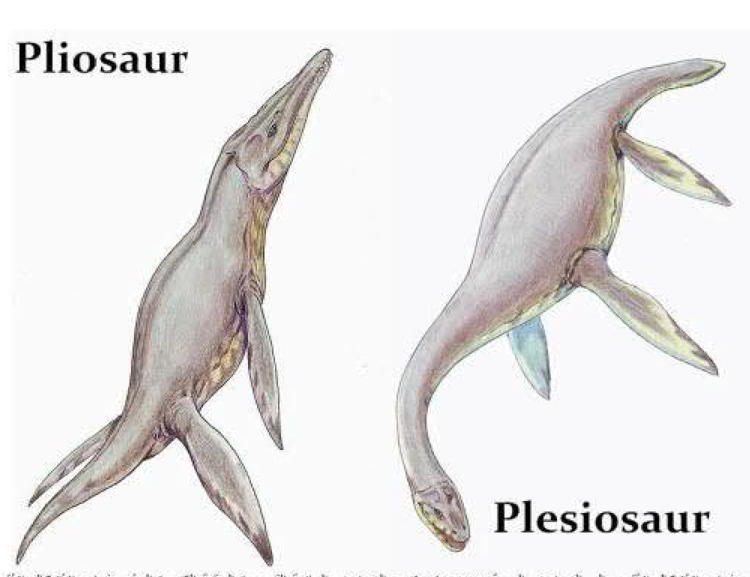


أنواع من الـ Plesiosauria [الزواحف المائية ذوات الشكل الأقرب إلى الزواحف البرية مما كانت عليه ichthyosaurs] بفصيلتيها الفرعيتين

لقد ازدهرت الـ Plesiosauria [الزواحف المائية ذوات الشكل الأقرب إلى الزواحف البرية] على مستوى العالَم في الأنظمة البيئة الإيكولُجِيَّة البحرية منذ العصر الجوارسي المبكر وحتى نهاية العصر الطباشيري. وقد استنوعت إلى فصيلتين فرعيتين: pliosaurs [الزواحف المائية ذوات الأشكال الأقرب إلى الزواحف البرية، وسنضيف لها في الترجمة صفة قصيرة الرقبة كبيرة الرأس] و plesiosaurs [يعني اسمها أيضًا الزواحف المائية ذوات الأشكال الأقرب إلى الزواحف البرية، لكنها تشير إلى فصيلة فرعية أخرى، لذلك اختلف الاستهجاء للكلمة اللاتينية، وسنضيف لها في الترجمة صفة طويلة الرقبة صغيرة الرأس]. كان للـ Pliosaurs رقاب قصيرة ورؤوس طويلة كبيرة، وقد بدت في الشكل الظاهري أشبه بـ ichthyosaurs [زواحف سمكية الشكل] قوية طويلة الرأس. لقد سبحت على نحو أساسي باستعمال أطراف قوية، والتي كانت على ذلك كلها تراكيب كبيرة الحجم شبيهة الشكل بالمجاذيف، متخذة شكل أسطح انسياب مائي فعّالة. كانت بعض الـ Pliosaurs [الزواحف المائية القصار الرقبة الكبار الرؤوس ذوات الأشكال الأقرب إلى الزواحف البرية] ضخمة، فقد وصل Leiopleurodon [يعني اسمه ذو الأسنان الناعمة الجانبين والمقصود الناتئة البارزة الحادة] إلى طول عشرين مترًا!

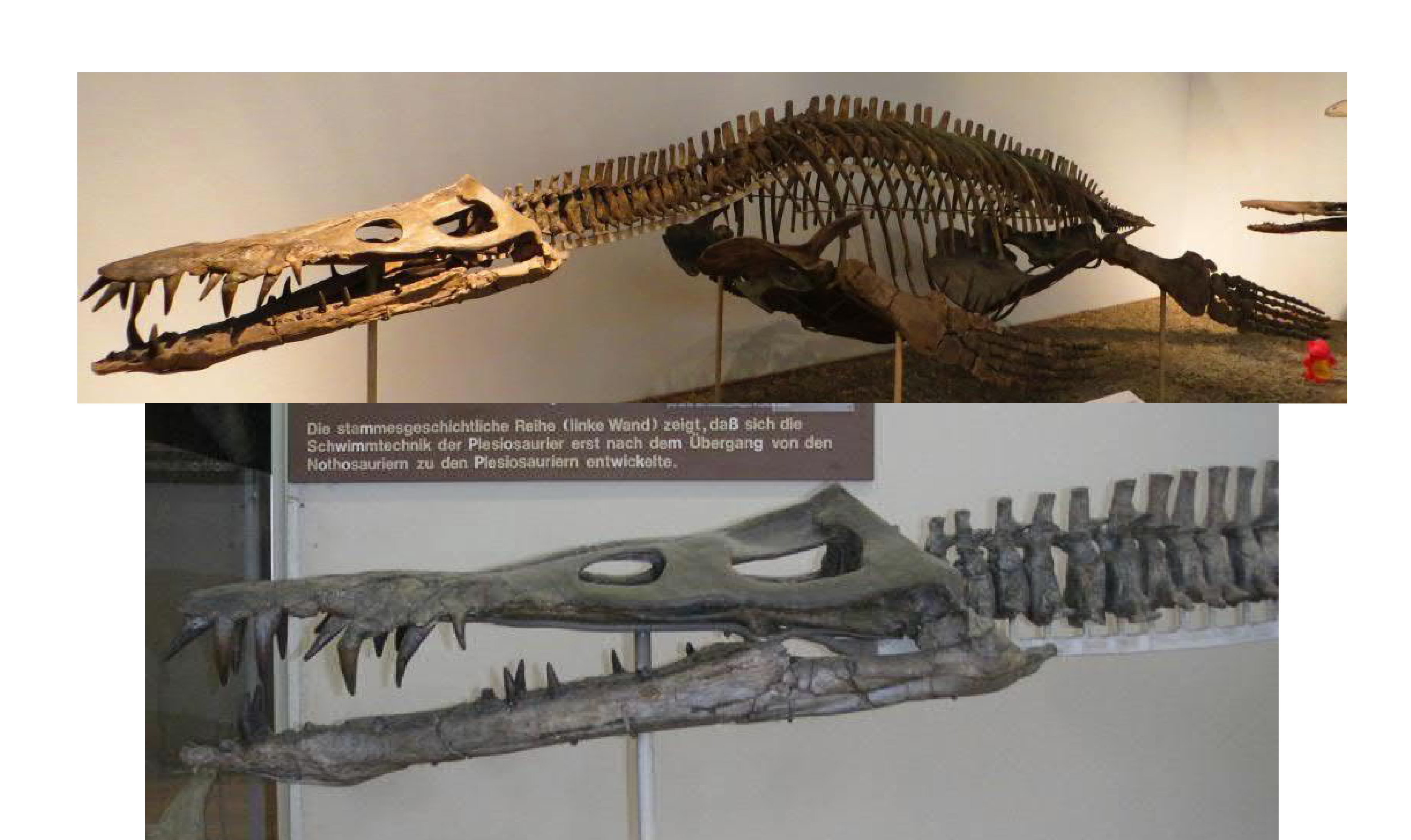


[الزواحف المائية القصار الرقبة الكبار الرؤوس ذوات الأشكال الأقرب إلى الزواحف البرية] Pliosaurs



الزواحف المائية الطويلة الرقبة الصغيرة الرأس ذوات الأشكال الأقرب إلى الزواحف البرية plesiosaurs والزواحف المائية القصيرة الرقبة الكبيرة الرأس ذوات الأشكال الأقرب إلى الزواحف البرية pliosaurs

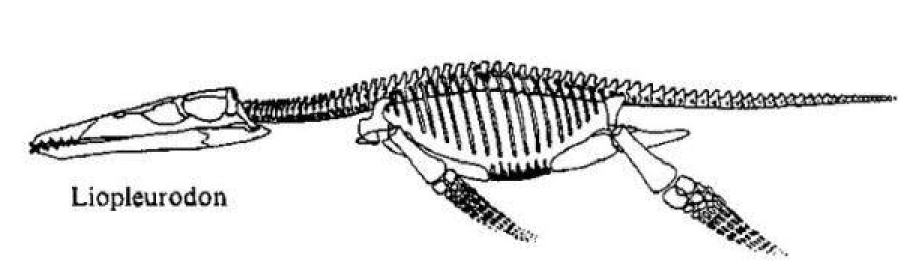




الهيكل العظمي لـ Leiopleurodon ferox [يعني اسمه حاد الأسنان الشرس]_ متحف المتحجرات Museum of Paleontology, Tuebingen. وصل طول هذا النوع إلى ٢٠ مترًا.

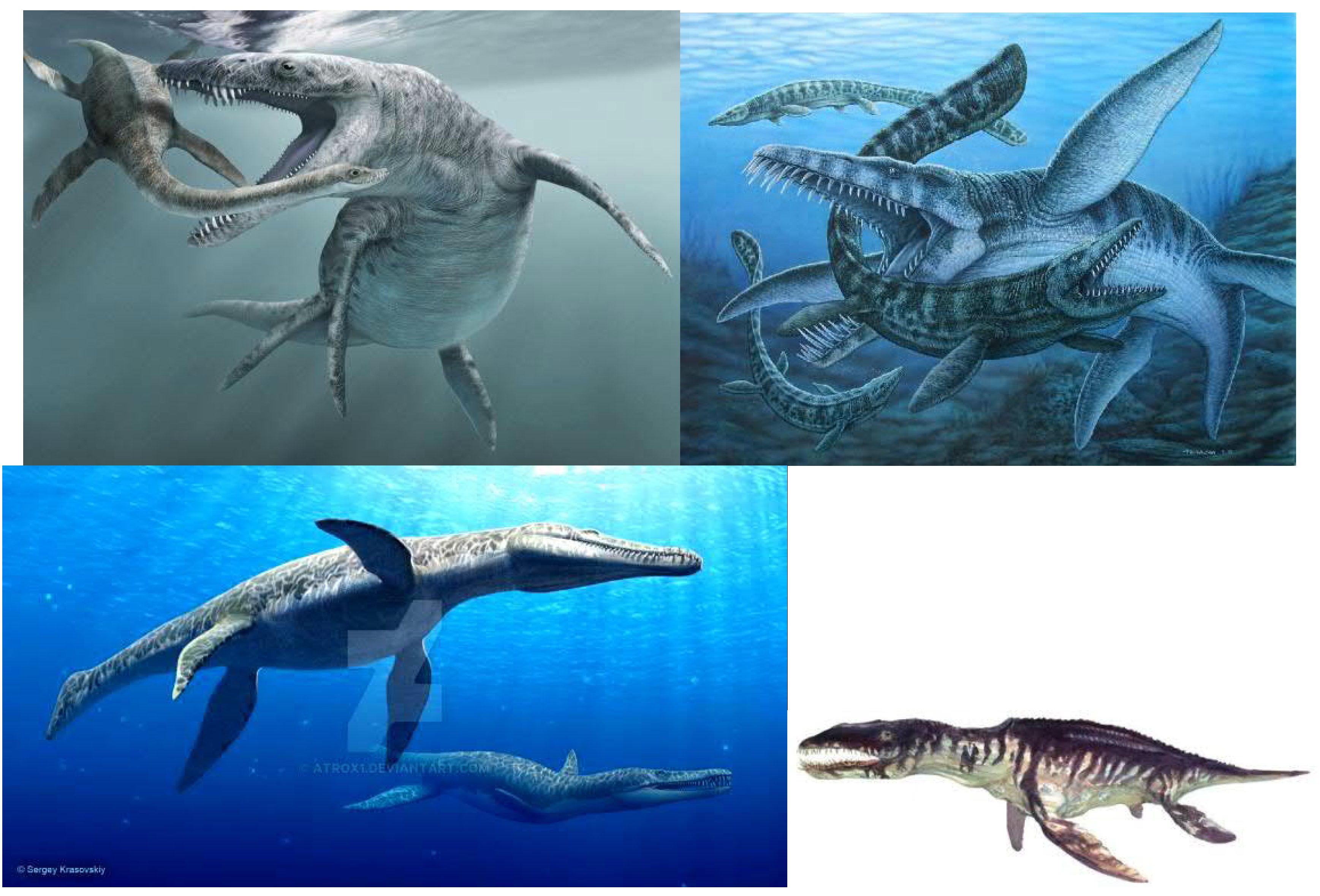




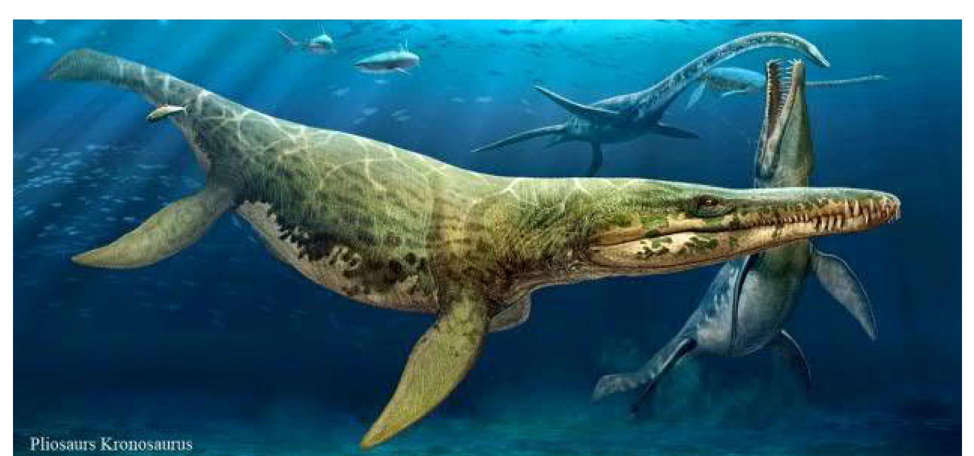


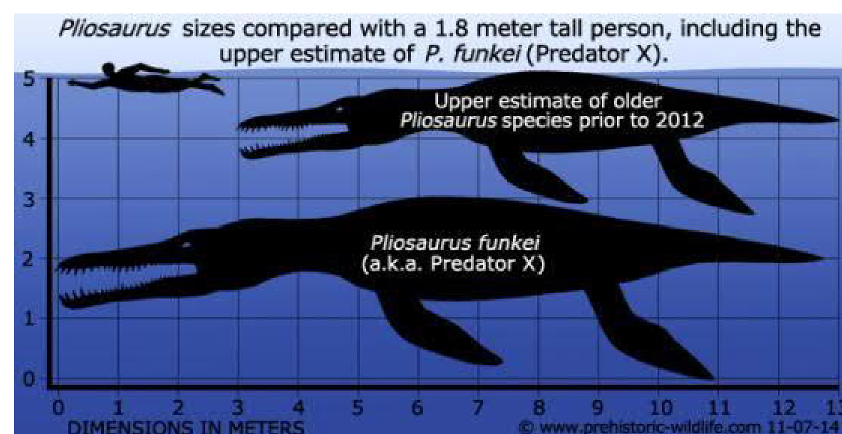


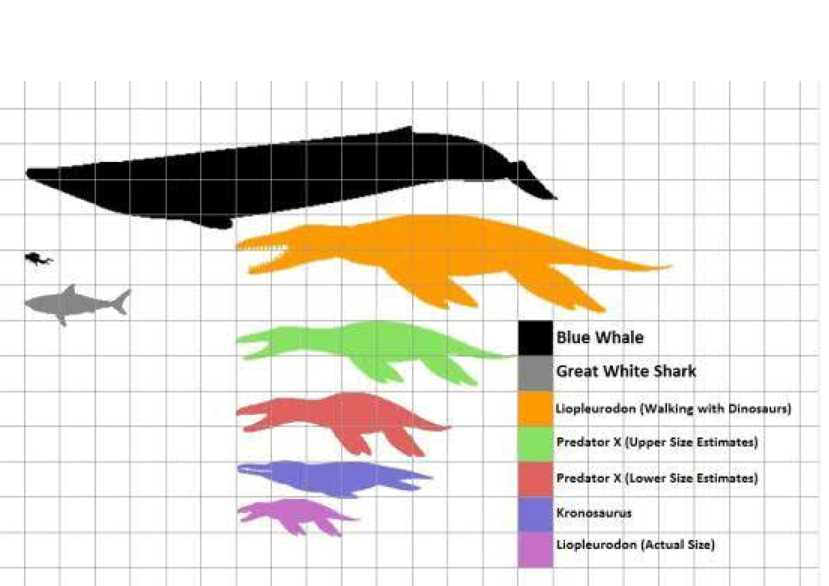
بعض متحجرات Leiopleurodon ferox [يعني اسمه حاد الأسنان الشرس]



بعض إعادات بناء Leiopleurodon ferox [يعني اسمه حاد الأسنان الشرس]







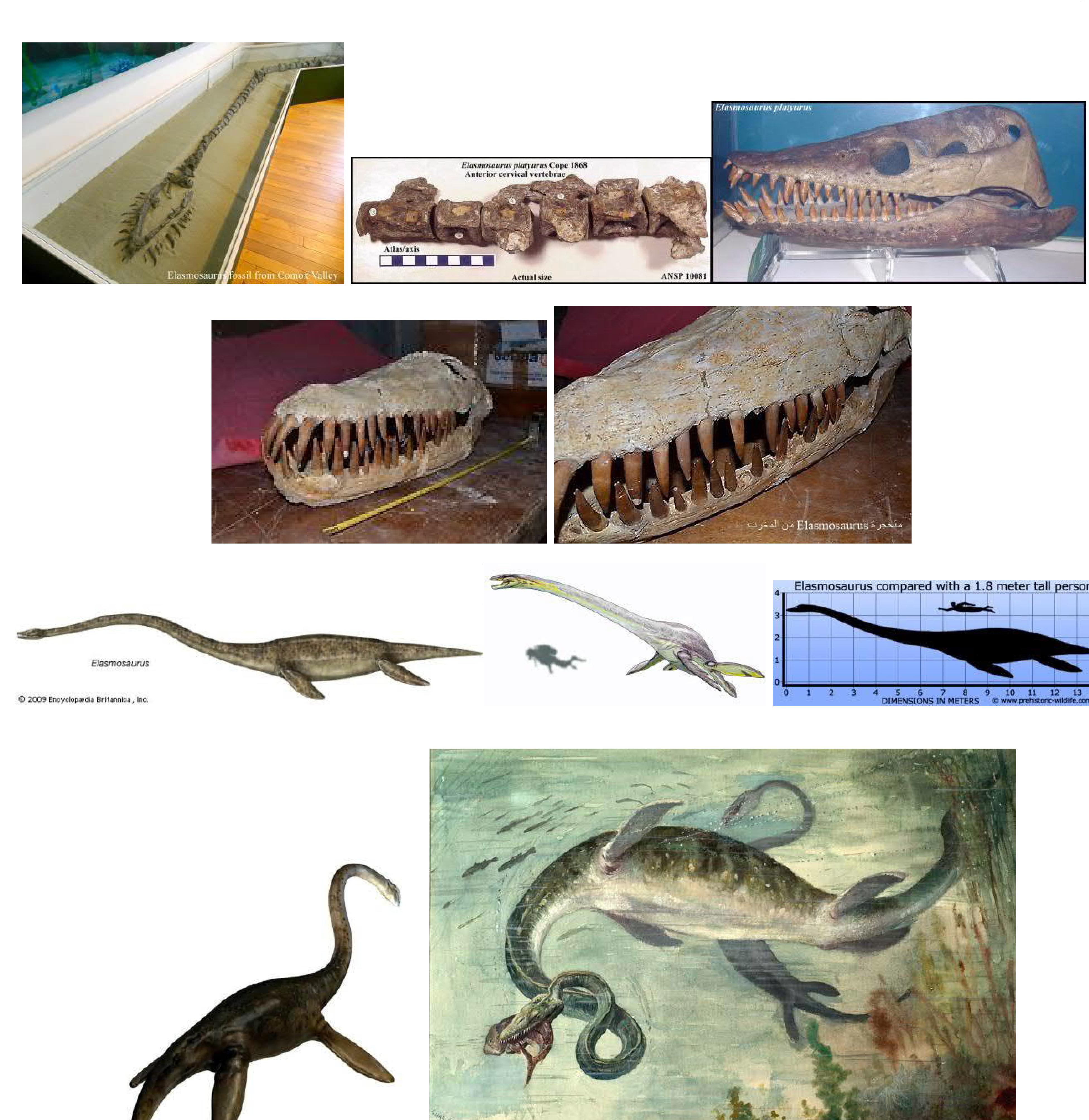


متحجرة Pliosaur من خليج The Weymouth Bay في متحف Dorset County Museum

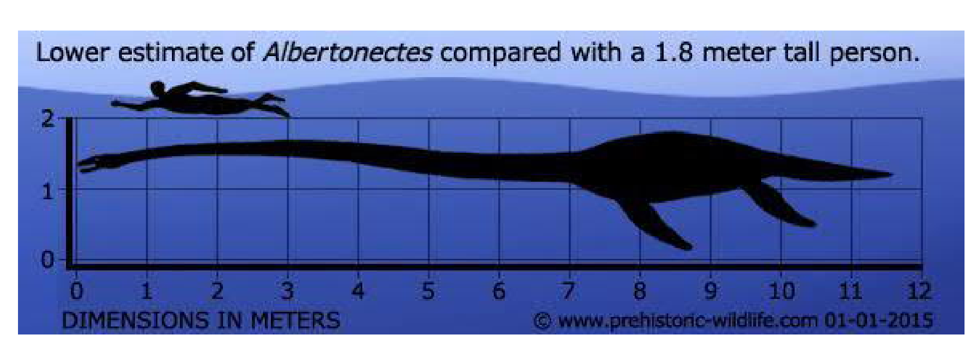
بعض أحجام الـPliosaurs مقارنة بالإنسان والحوت والقرش الأبيض

أما الـ Plesiosaurs [الزواحف المائية الطوال الرقاب الصغار الرؤوس الأقرب إلى أشكال الزواحف البرية] فكان لها نفس بنية الأطراف، لكنها كان لها رقاب طويلة جدًّا ورؤوس صغيرة. كان طول البالغ المتوسط منها ٣ أمتار (١٠ أقدما)، ذا رقبة بها ٤٠ فقرةً. كانت بعض الـ Plesiosaurs ضخمة

أيضًا. فقد كان طول Elasmosaurus [ذي الصفائح الرفيعة في حزامه الحوضي] من العصر الطباشيري في كنساس Kansas ١٢ مترًا، ذا ٧٦ فقرة عنقية!

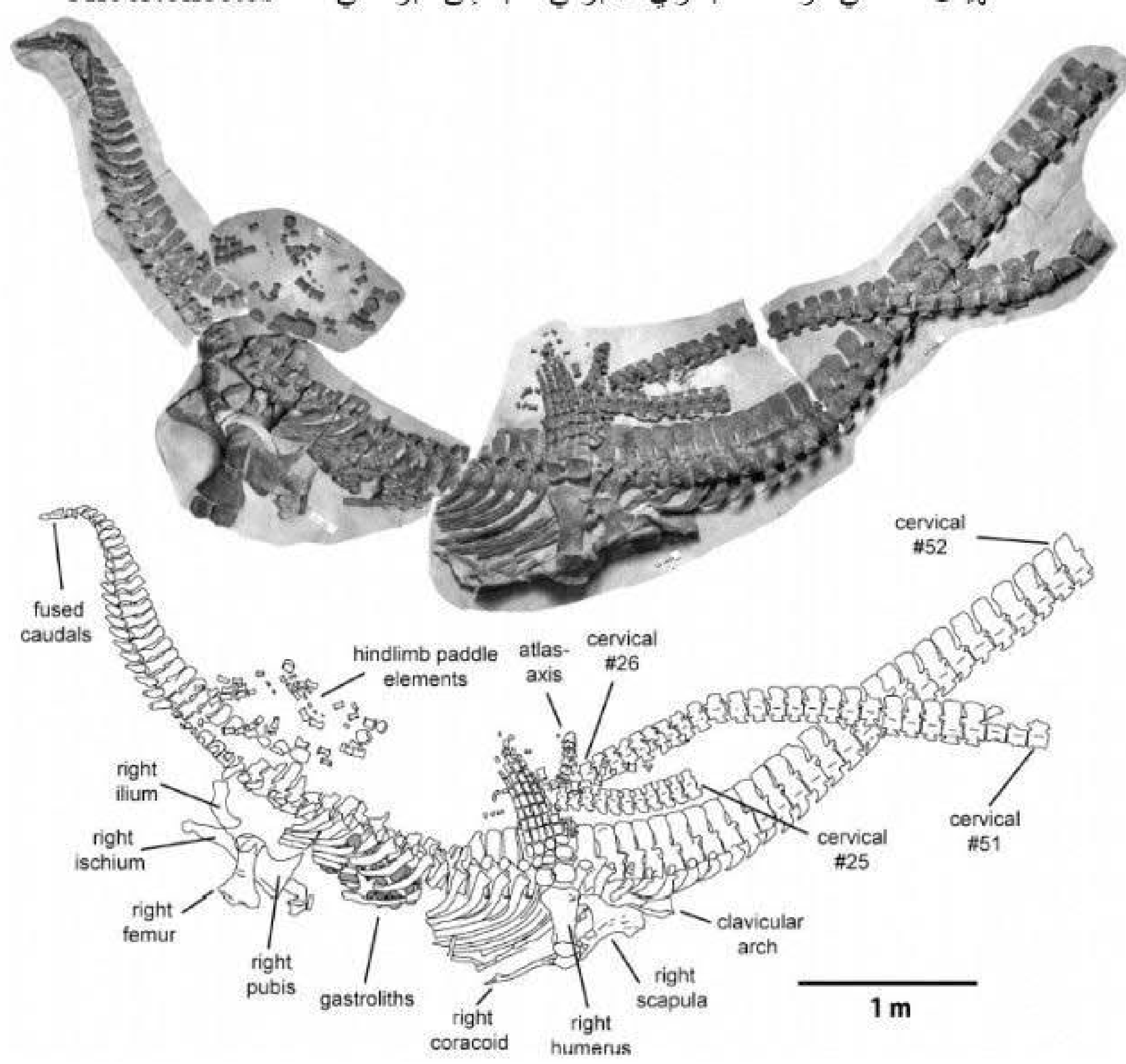


بعض متحجرات Elasmosaurus [ذي الصفائح الرفيعة في حزامه الحوضي] وإعادات إنشاء ورسم له





الهيكل العظمي للزاحف البحري الألبرتي نسبةً إلى ألبرتا في كندا Albertonectes

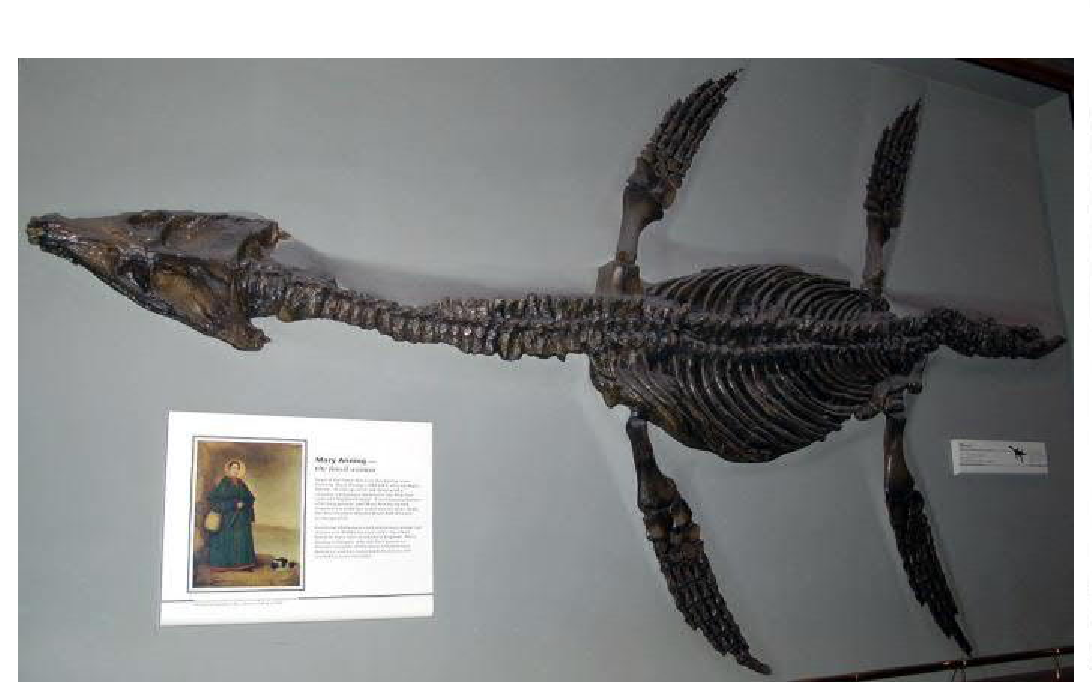


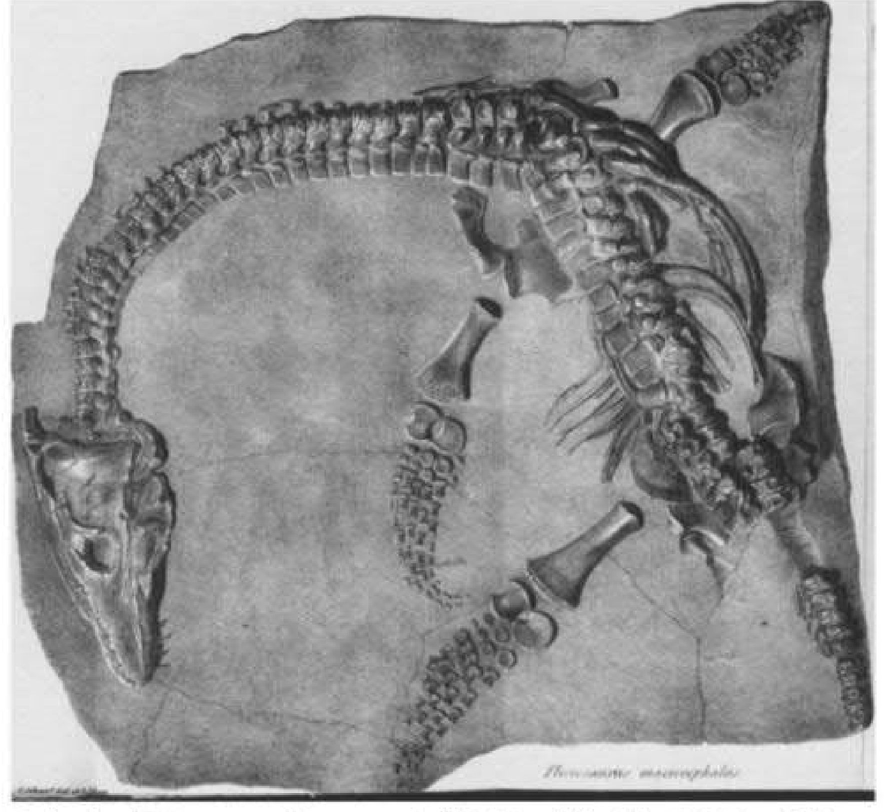
متحجرات لـ albertonectes [الزاحف المائي الألبرتي] وهو من فصيلة Elasmosaurus [ذي الصفائح الرفيعة في حزامه الحوضي]

كانت أطراف الـ Plesiosaurs [الزواحف المائية الطويلة الرقبة الصغيرة العنق الأقرب إلى أشكال الزواحف البرية] متصلة بحزام صدري وحزام حوضي ضخمين (الصورة ١٤– ٩)، ربما عن طريق عضلات وأربطة قوية جدًّا. اقترحت Jane Robinson في عام ١٩٧٦م أن هذه التراكيب يمكن تفسيرها لو كانت كل الأطراف الأربعة استُعْمِلَتْ في ضربات سباحة بحركة قوية من أعلى إلى أسفل، في "طيرانٍ" تحت الماء شبيه بالخاص بالبطاريق، ما عدا بالتأكيد أن كل الأطراف الأربعة كانت متضمَّنة وليس اثنين فقط. لقد أدرَكَتْ [جين روبِنسُن] أن أجساد الـ Plesiosaurs كان ينبغي أنها كانت مربوطة بأوتار قوية لنقل الدفع المتولِّد من خلال الأطراف إلى الجسد الذي تدفعه خلال الماء؛ ووجَدَتْ أثلامًا في المواضع من الهيكل العظمي حيث كانت تمتد الأوتار.

لكن أطراف الـPlesiosaurs [البليسورات] لم تكن مرتبطة بمفاصل على نحو جيد كفايةً بالحزامين الكتفي والحوضي لتُمَكِّن من ضربات قوية للرفرفة أو "الطيران" الحرفي تحت الماء، وهي لم تستطع رفع أطرافها فوق المستوى الأفقي. وهي لا تُظْهِر أيضًا أي علامات خاصة بروابط عضلية قوية. اقترح Steven Godfrey بدلًا من ذلك في عام ١٩٨٤م أن خفقات الدفع كانت باتجاه الأسفل والخلف في توليفة من "الطيران" أو الرفرفة والتجذيف؛ تسبح أسود البحر الحية بهذه الطريقة. ورغم أنها طريقةٌ تَصلُح، فإن سباحة الـPlesiosaurs تطلَّبَتْ تنسيقًا دقيقًا بين ضربات الأطراف.

لكنَّ هنا سؤالًا غيرَ محلولٍ: كيف تتساقت ضرباتُ الأطراف؟ هل عملت كل الأطراف الأربعة في تزامن؟ أم هل تعاقبت ضربات الطرفين الأماميين مع ضربات الطرفين الخلفيين؟ أم هل ضرب الطرف الأيمن الأمامي والأيسر الخلفي بالتزامن والتطابق مع الأيسر الأمامي والأيمن الخلفي؟ معظم العلماء يؤيدون التقنية [أو الأسلوب] الأول الخاص بضربات الأطراف الأربعة المتزامنة، والتي تستعملها أيضًا أسودُ البحر. بينما كان الخيار الثاني سيَتضمَّن ضغطًا كثيرًا على الجذع، والذي كان سيتمدد وينكمش بالتعاقب لو كانت ضربات السباحة تتعاقب وتتناوب بين الطرفين الأماميين والخلفيين. مع ذلك، فالخيار الثالث كان سيتطلب فقط مقاومة الجذع للانثناء، وهو ما كان يمكن تحقيقه بسهولة عن طريق أربطة على طول العمود الفقري والتي تربط الأجزاء الرئيسية الكبيرة من العظام على طول الجانب السفلي. هذا كان يمكنه جعل البليسور Plesiosaurs أكثرَ قدرةً على المقاومة مما كانت ستفعل التقنيات الأخرى.

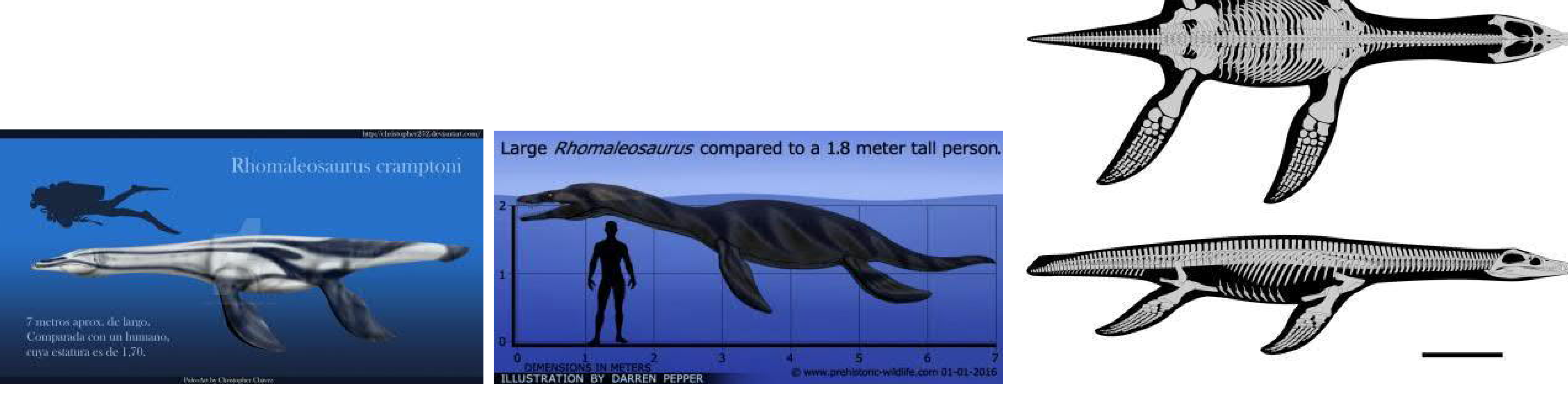




Fossil remains of *Plesiosaurus macrocephalus*, accompanying Richard Owen, "A Description of a Specimen of *Plesiosaurus Macrocephalus*, Conybeare, in the Collection of Viscount Cole" (*Transactions of the Geological Society of London*, 2nd Series, Vol. V, 1838, Pl. 43 [detail]). Plesiosaurs and their allied taxa have long been understood to have extended necks.



كان Rhomaleosaurus [يعني اسمه الزاحف القوي] نوعًا من البليسورات Plesiosaurs. لا بد أن الأطراف قادت عملية السباحة، لكن بأي كيفية؟



إعادات بناء لـ Rhomaleosaurus [يعني اسمه الزاحف القوي]

يصعُب تصورُ كيف كانت البليسورات Plesiosaurs تصطاد. فربما برؤوسها الكبيرة، اصطادت الـ pliosaurs [الزواحف المائية الكبيرة الرؤوس القصيرة الأعناق الأقرب إلى شكل الزواحف البرية] الأسماكَ الكبيرةَ بسرعة عالية تمامًا. لكن الـ plesiosaurs [الزواحف المائية الصغيرة الرؤوس الطويلة الرقاب الأقرب إلى شكل الزواحف البرية] كانت مختلفةً. فقد كان لها أجساد كبيرة الأحجام لكن برؤوس صغيرة ورقاب طويلة. ربما طاردت خلسةً الفرائسَ الأصغرَ واستعملت "الطيران" الثابت تحت الماء على نحو رئيسي للهجرة أو السفر إلى أماكن الغذاء.

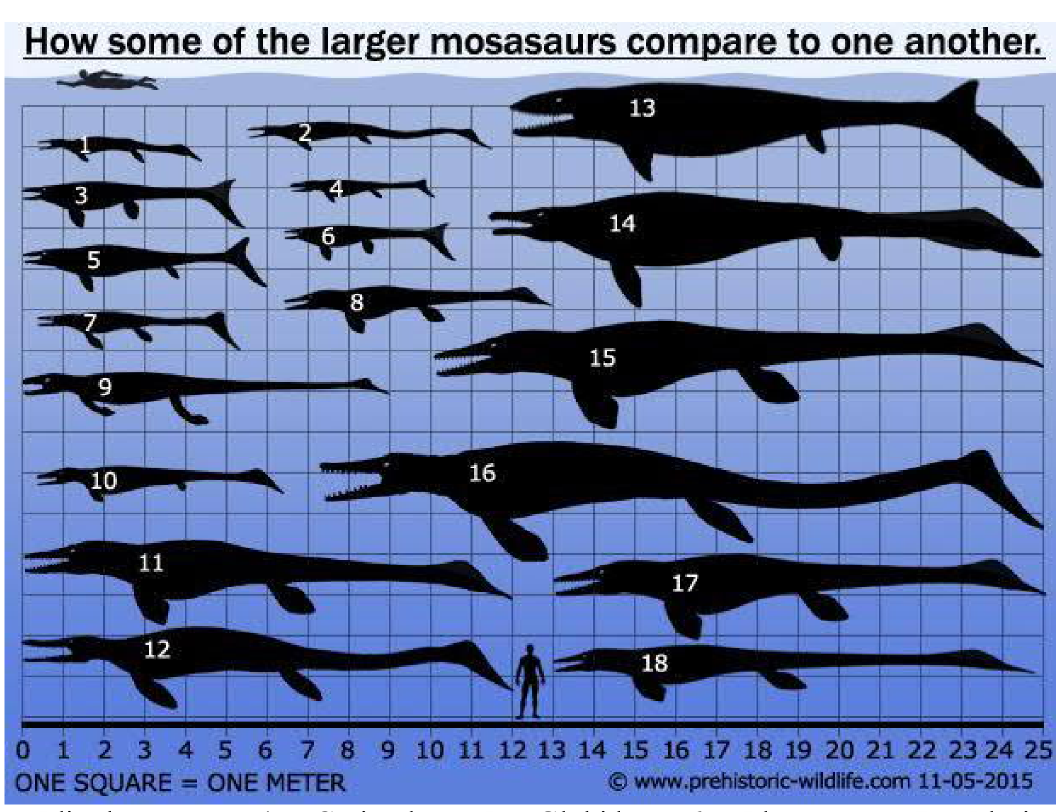


متحجرة لـ Polycotylus [ذي الفقرات الكوبية الشكل] وهو نوع من الـplesiosaurs وبداخلها جنين متشكل، حيث كانت تلك الزواحف قد تطورت فيها عملية الولادة بدلًا من وضع البيض، ومتحجرة أخرى لزعنفة له محفوظة على نحو رائع.

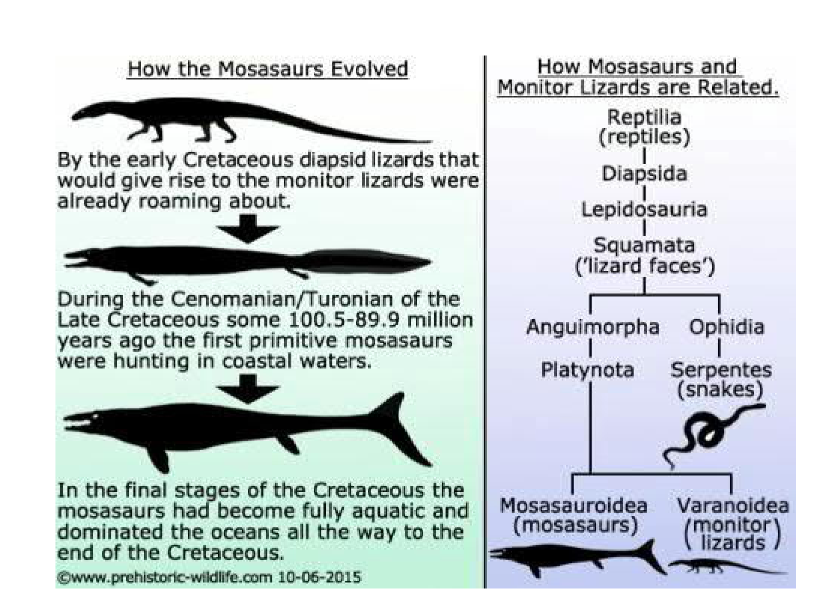
Mosasaurs [زواحف نهر الميز Meuse River أو الزواحف الميزيّة أو المازيّة، وهو نهر ينبع من فرانس ويمر عبر بلجيكا وهولاند قبل أن يصب في بحر الشمال، حيث اكتشفت أول عينة من هذه الفصيلة بقربه]

كانت الزواحف الميزيّة Mosasaurs [المنسوبة إلى نهر ميز أو ماز أو ماوز] على نحو جوهري سحاليَ وَرَلٍ كبيرةً جدًّا من العصر الطباشيري المتأخر، وصلت إلى طول ١٠ أمتار (٣٠ قدمًا)، فكانت أكبر سحالي مما تطور على الإطلاق. إن تطور تكيفاتٍ للماء فيها بالتناظر مع الـichthyosaurs [الزواحف السمكية الأشكال] والـplesiosaurs [الزواحف البحرية الأقرب إلى الأشكال الخاصة بالزواحف البريّة] مدهِشٌ.

كانت أجساد الزواحف البحرية الميزية mosasaurs طويلة وقوية، ذوات ذيل وأطراف متكيفة للسباحة. جاء الدفع الرئيسي من ثني الجسد والتجذيف بالذيل، والذي كان مسطحًا وعريضًا، كما في التماسيح الحية المعاصرة. لكن _بالإضافة إلى ذلك_ كانت الأطراف معدَّلة إلى أسطح انسياب مائي بديعة. كان مفصل المرفق [الكوع] صلبًا، وكان مفصل الكتف متطورًا لحركة إلى أعلى وأسفل. ورغم أن الطرفين الأماميين ربما منحا بعض الرفع، فقد استعملتهما معظم الزواحف المائية الميزية mosasaurs على الأرجح كأسطح توجيه، كما تفعل الدلافين.

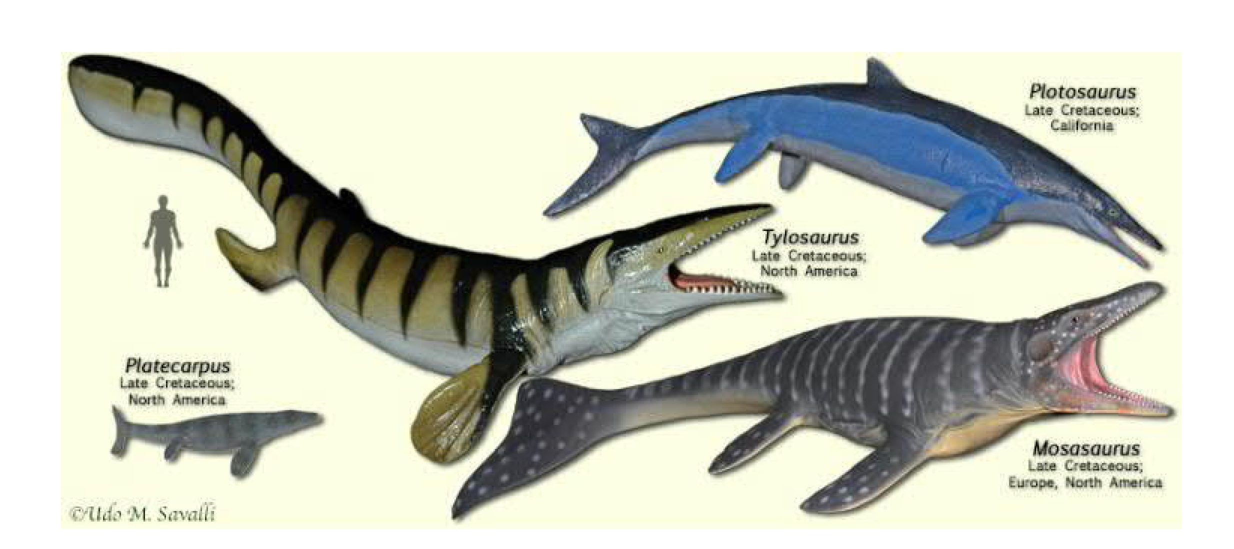


1-Halisaurus, 2 - Pannoniasaurus, 3 - Plioplatecarpus, 4 - Carinodens, 5 - Globidens, 6 - Platecarpus, 7 - Plesioplatecarpus, 8 - Plesiotylosaurus, 9 - Yaguarasaurus, 10 - Clidastes, 11 - Hainosaurus, 12 - Liodon, 13 - Prognathodon, 14 - Plotosaurus, 15 - Tylosaurus, 16 - Mosasaurus, 17 - Taniwhasaurus, .18 - Moanasaurus



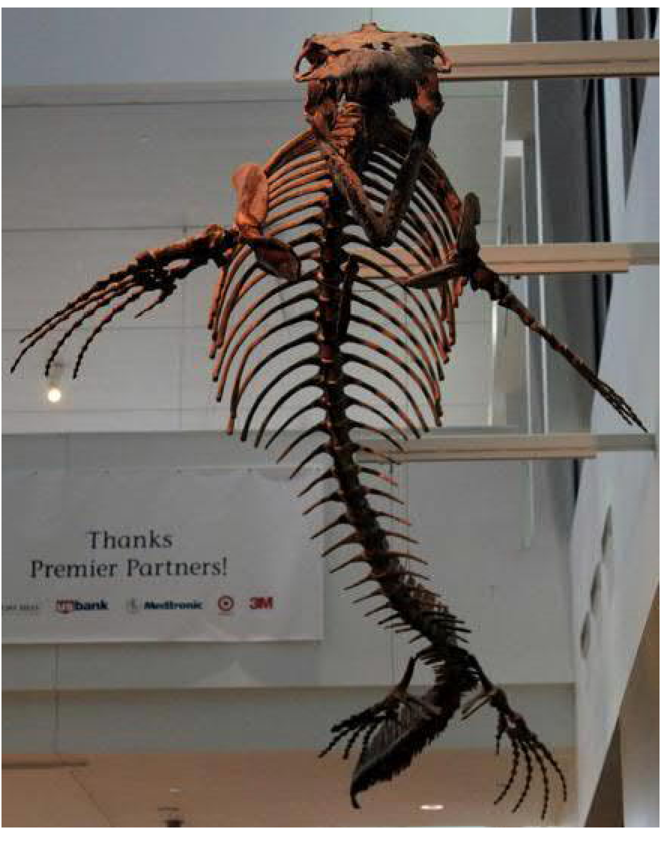
كيف تطورت الزواحف البحرية الميزية Mosasaurs؟ في العصر الطباشيري المبكر كانت السحالي ذوات الثقبين الصدغيين التي ستمنح النشأة لسحالي الورل موجودة وتتجول هنا وهناك بالفعل، وخلال العصر الطباشيري المتأخر منذ حوالي 5 ,100– 9 ,89 مليون سنة ماضية كانت الزواحف البحرية الميزية الأوَلِيَّة تصطاد في المياه الشاطئية. وفي أواخر العصر الطباشيري صارت الزواحف البحرية الميزية مائية بالكامل في حيواتها وهيمنت وسادت على المحيطات حتى نهاية العصر الطباشيري. وقد تطورت من فرعٍ من الزواحف المغطاة بالحراشف والذي تفرع عن أصله فرع الثعابين وفرع تفرع عنه سحالي الورل والزواحف البحرية الميزية.

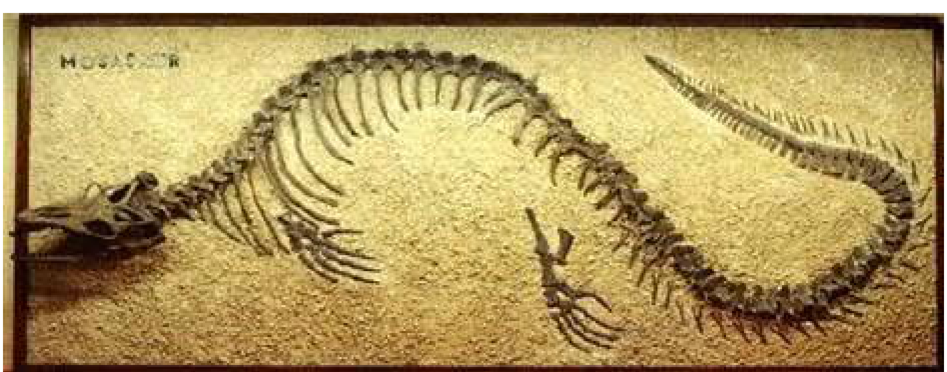
رغم ذلك، كان لدى بعض الأشكال _مثل Platecarpus [ذي الرسغ المسطح]_طرفان أماميان متطوران جيدًا (الصورة ١٤- ١٠)، وربما استعملهما في نوع من الطيران تحت المائي، كالبطاريق. كانت الأطراف الخلفية مثل الأمامية، ولو أنها أصغر، مع كون الروابط العضلية أيضًا تعطي حركة إلى الأعلى والأسفل. ولأن الحوض لم يكن مثبَّتًا إلى العمود الفقري، فإن ضربات الطرفين الخلفيين لا يمكن أن يكونا قد قدَّما الكثيرَ من القوة. وقد أمكن لهما الدوران، وعلى الأرجح عملا مثل روافع الطائرة لتعديل درجة الانحدار والتمايل والدوران.



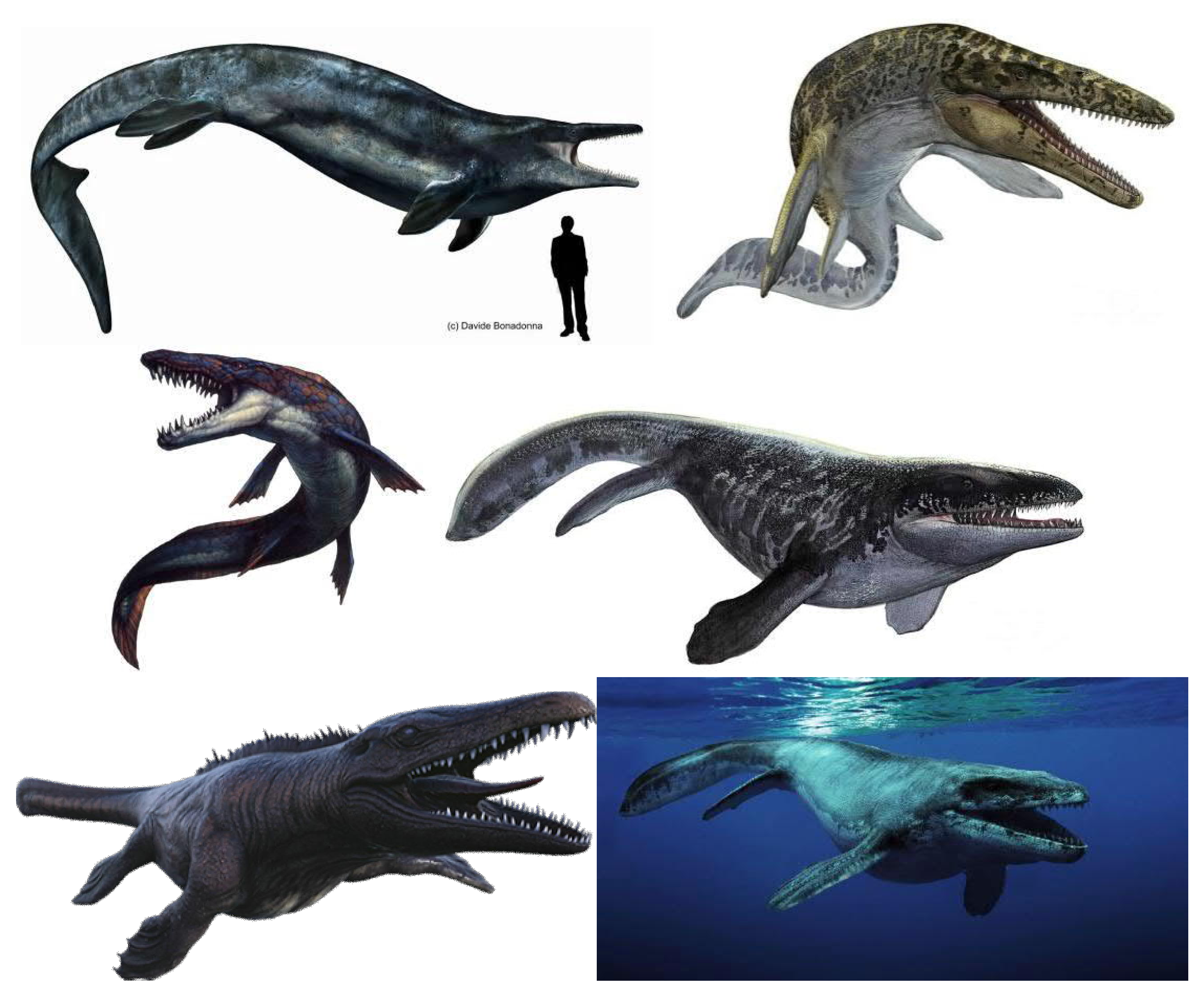








الزواحف البحرية الميزية Mosasaurs

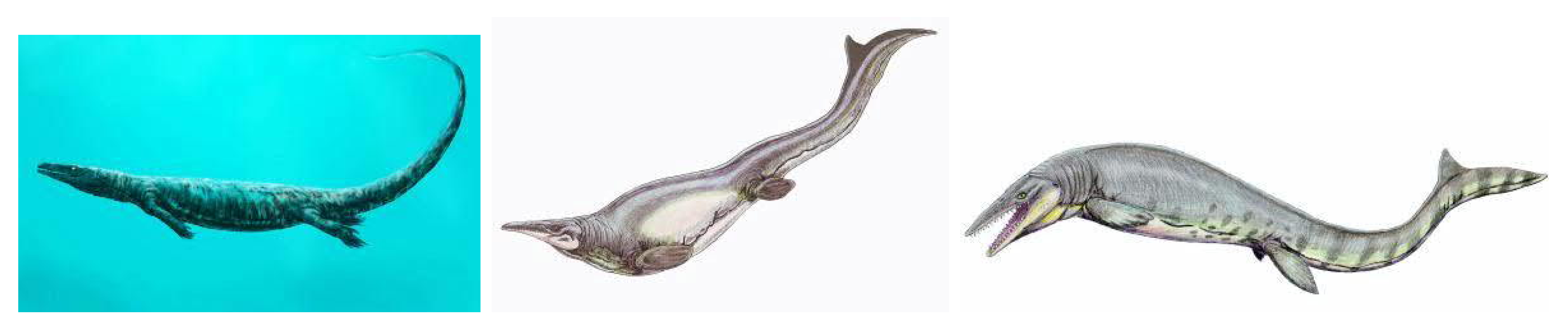


بعض إعادات البناء لـ mosasaurus

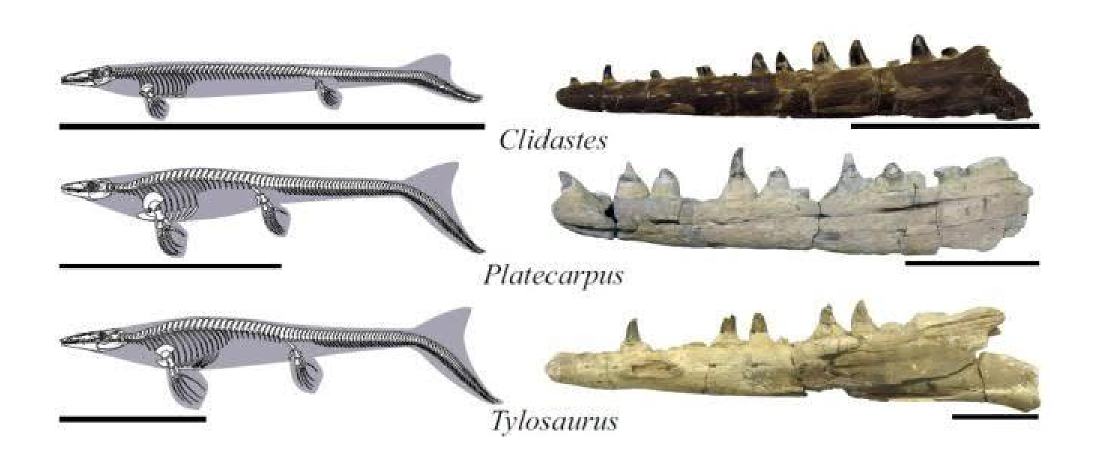




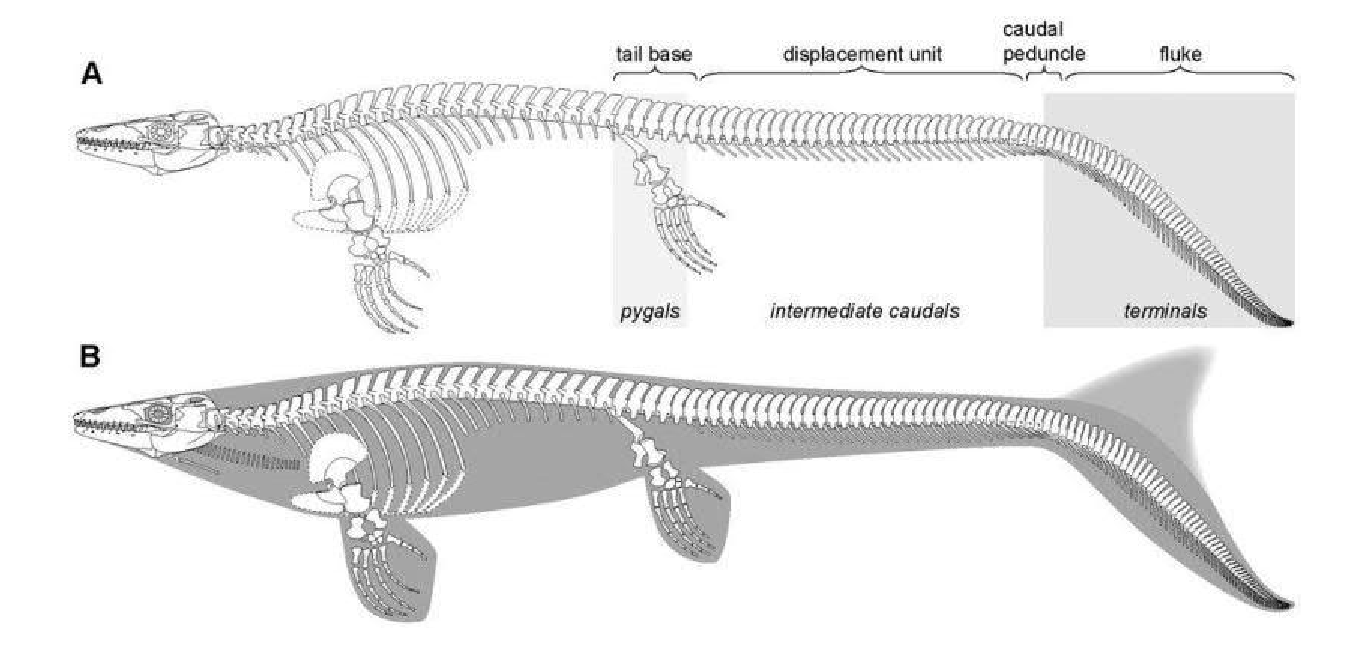
إعادة بناء للزاحف البحري الميزي mosasaurus [المنسوب اسم جنسه إلى نهر Meuse River]

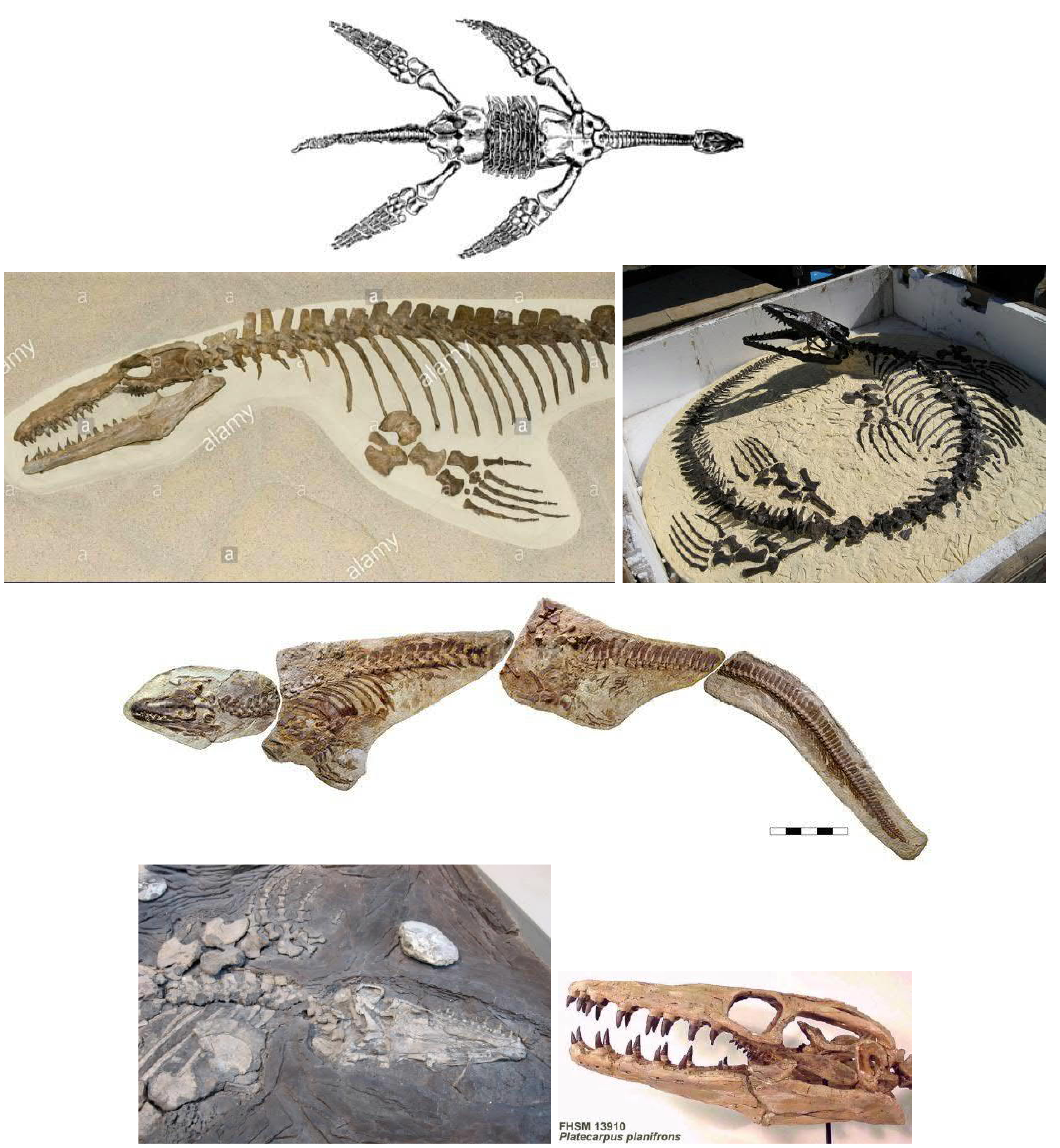


Tylosaurus pembinensis و Plotosaurus و Aigialosaurus bucchichi



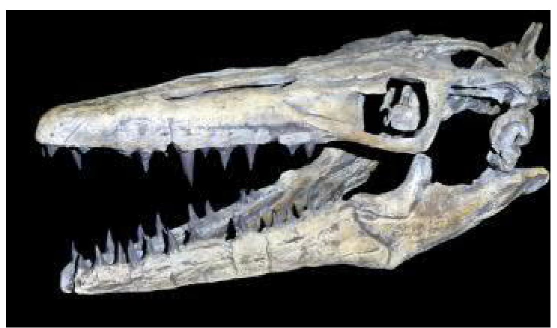
بعض أشكال هياكل وفكوك زواحف بحرية ميزية





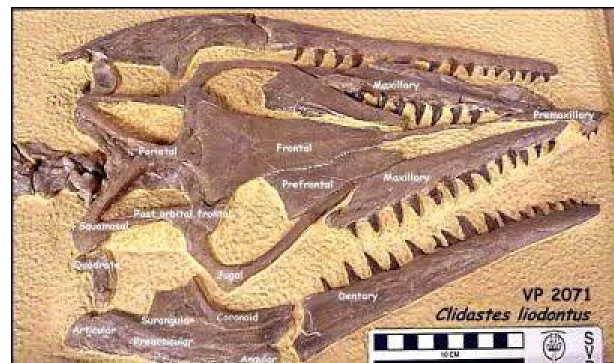
الصور ١٤– ١٠ كان Platecarpus زاحفًا ميزيًّا mosasaur من العصر الطباشيري، وكان على نحو جوهري سحلية عملاقة متكيفة لحياة الافتراس في البحر. كان طوله ٤ أمتار (١٣ قدمًا).

كان للزواحف البحرية الميزيّة Mosasaurs رأس طويلة متموضعة على رقبة مرنة لكنها قوية. كثيرًا ما كان للفك الكبير مفصل رَزّي [يتناسب فيه جزء محدب في عظمة مع جزء مقعر من عظمة أخرى] بطول نصف الفك السفلي، والتي ربما أفادت كماصَّة للصدمات عندما كان الزاحف البحري الميزيّ mosasaur يطبق فمَه بعنف وسرعة على سمكة كبيرة. يقترح هذا المفصل الرَزِّيُّ والأسنان الثاقبة القوية أن معظم الزواحف البحرية الميزيّة Mosasaurs أكلت الأسماكَ الكبيرةَ (الصورتان ١٤– ١١ و ١٤– ١٢). كان للزواحف البحرية الميزيّة Mosasaurs أسنان كبيرة مستديرة ثلماء كالخاصة بالـPlacodus [ذي الأسنان المسطحة] (الصورة ١٤– ٧)، وقد كانت تسحق أصداف الرخويات على الأرجح لتصل إلى اللحم في داخلها.



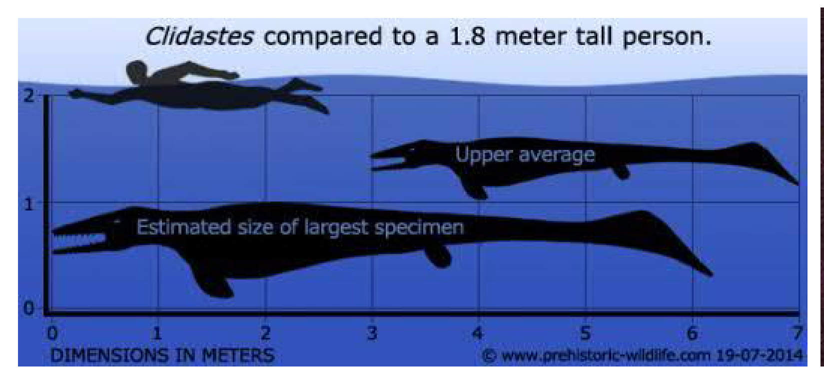




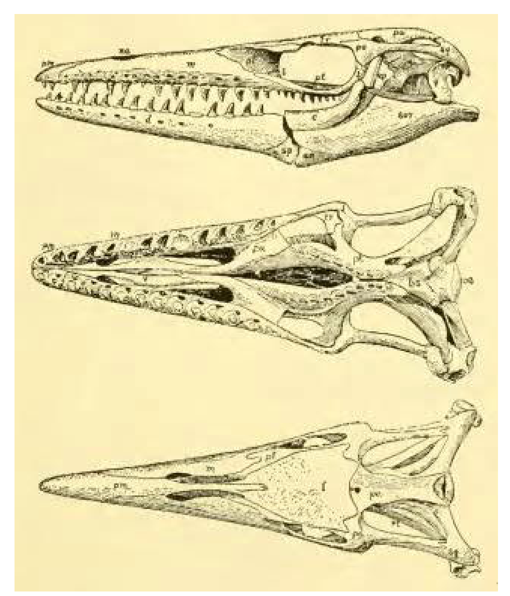






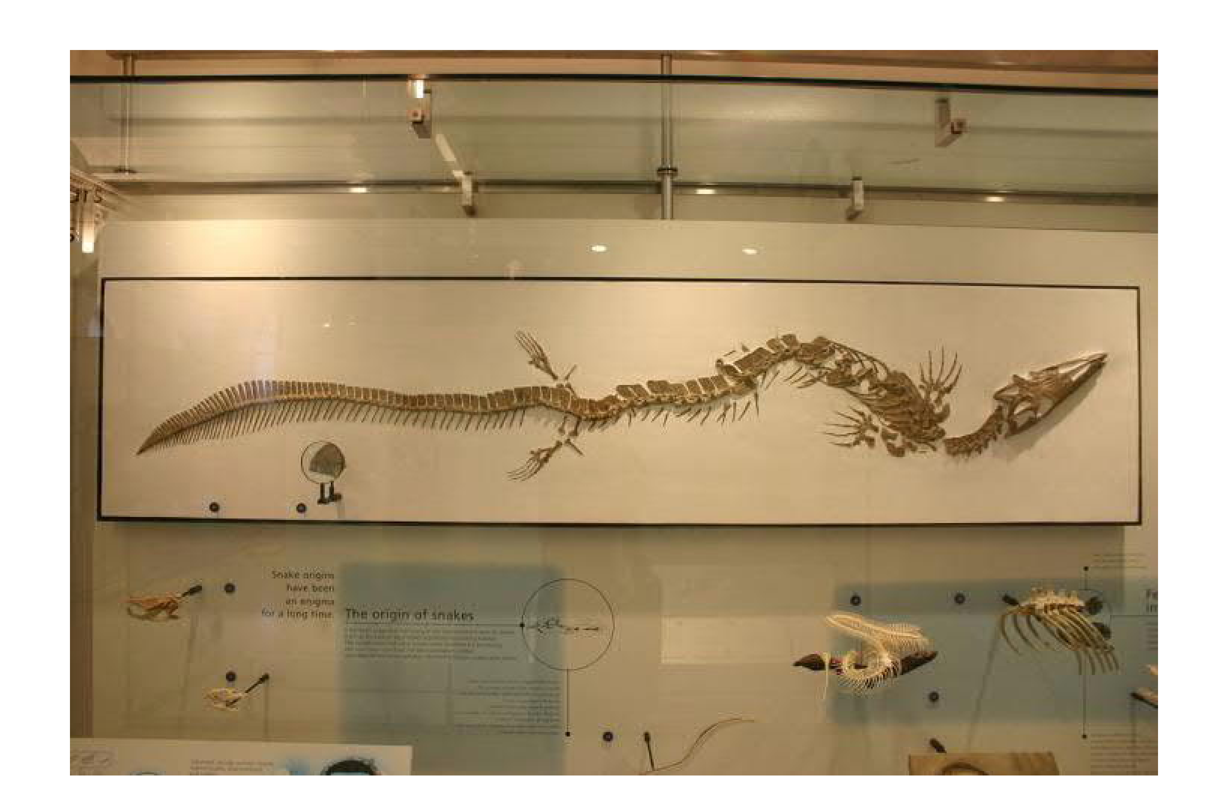


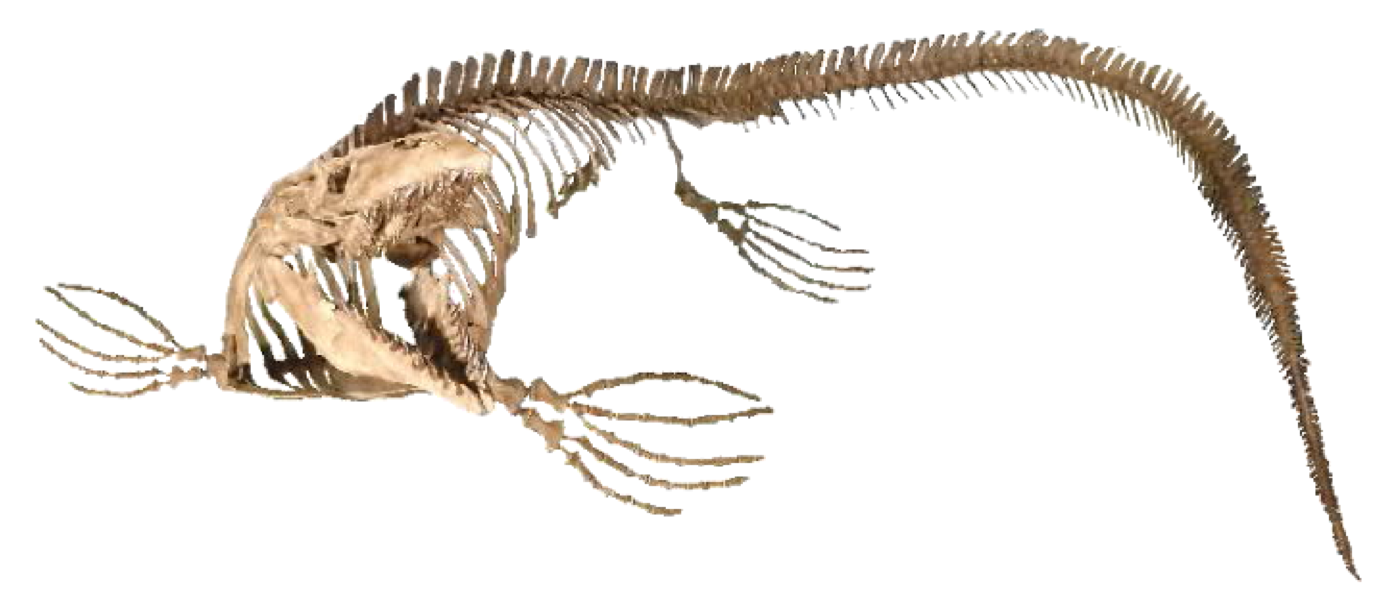




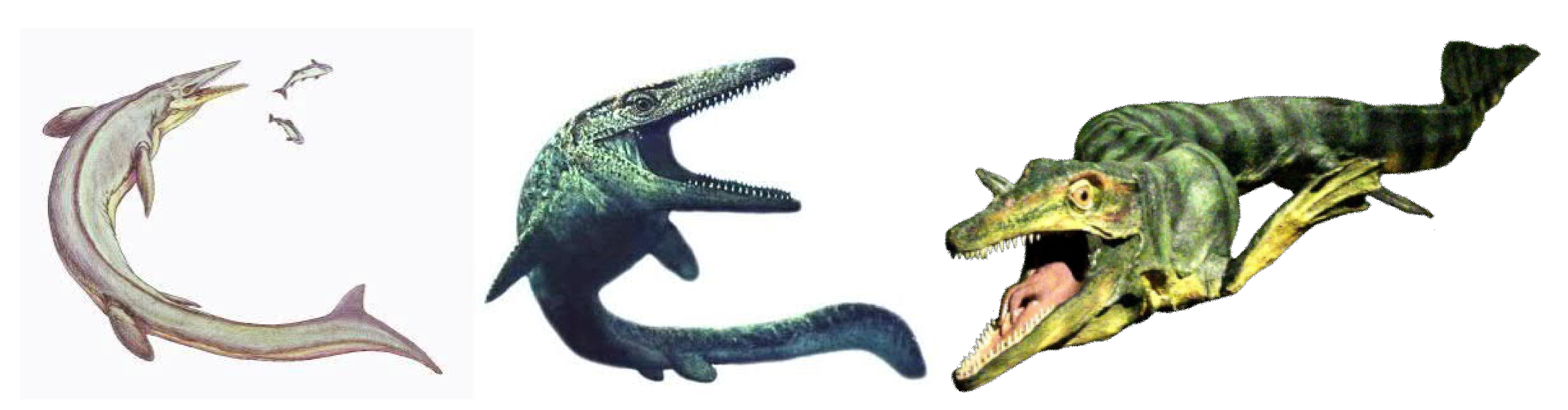


الصورة ١٤- ١١ فكا وأسنان الـmosasaur [الزاحف البحري الميزي] Clidastes [ذي الفقرات المتداخلة، والاسم يشير إلى النتاؤئ الفقرية التي تمكن الرؤوس الدانية للفقرات المتجاورة المتدانية من التداخل لتحقيق الثبات والقوة أثناء السباحة]





بعض متحجرات الـmosasaur [الزاحف البحري الميزي] Clidastes [ذي الفقرات المتداخلة، والاسم يشير إلى النتاوئ الفقرية التي تمكن الرؤوس الدانية للفقرات المتجاورة المتدانية من التداخل لتحقيق الثبات والقوة أثناء السباحة]



إعادات بناء لـ الـmosasaur [الزاحف البحري الميزي] Clidastes [ذي الفقرات المتداخلة]













الصور ١٤– ١٢ جمجمة النوع Mosasaurus، الذي منه اشْتُقَّ اسم الفصيلة. أثار فكاه الهائلان الخاصان بهذا الكائن الحي حديث أوربًا في أواخر القرن الثامن عشر (بالتزامن مع الثورة الأمِركية والثورة الفرنسية، والثورة الصناعية).

متنفسو الهواء في البحر

كانت كل هذه الزواحف التي عاشت في دهر الحياة الوسيطة متنفسةً للهواء وبالتالي واجهت مشاكل خاصة فيما يتعلق بالحياة في البحر. نفس المشاكل التي تواجهها في العصر الحالي الثدييات البحرية تمامًا. المشكلة الرئيسية هي _بالتأكيد_ حقيقة أن متنفسي الهواء يجب أن يزوروا السطح لأجْل تنفس الهواء، لكن هناك مشاكل أخرى أيضًا في إدخال صغار إلى عالم [أو بيئة] معقدة وخطيرة حيث أن يكونوا مستعدين مجهَّزين لاستعمال مهارات معقدة مباشرةً بعد مولدها. تعود الكثير من الزواحف والثدييات والطيور البحرية إلى الشاطئ للتكاثر. تضع السلاحف ببساطة كبشات [أو مجموعات] من البيض وتتركها مدفونةً في الرمل، وهي وسيلة تتسبب في وفيات مرعبة لكنها عملت وتعمل بنجاح على نحو واضح منذ ٢٠٠ مليون سنة. تحتفظ الفقمات وأسود البحر والبطاريق بصغارها على الشاطئ في حضانات آمنة، بالتالي يستطيع الصغار تنفس الهواء والتغذِّي والنمو لفترة قبل أن يتخذوا أسلوب حياة السباحة والبحث عن الطعام في البحر.

لكن الدلافين والحيتان الحية المعاصرة لا تأتي خارجًا على الشاطئ أبدًا. إن لديها تكيفات خاصّة لتنفس الهواء والتكاثر والولادة والعناية بالصغار في البحر. يكون الصغار المولودون تابعين في الأول، وتدفعهم أمهاتهم وبالغون آخرون من أقاربهم إلى السطح إلى أن يتعلموا كيفية التنفس على نحو ملائم. لا بد أن يكون الصغير قادرًا مباشرةً على الغطس ليرضع، فتغذِّي الحيتانُ أطفالَها الرُضَّعَ بالحليب تحت ضغطٍ عالٍ [مائيٍّ].

هناك أدلة على أن الزواحف البحرية من دهر الحياة الوسطى حلت نفسَ هذه الأنواع من المشاكل بطريقة رائعة. لقد عُثِر على العديد من متحجرات الزواحف ذوات الأشكال الشبيهة بالسمكية ichthyosaurs وبداخلها صغار محفوظين في القفص الصدري للبالغات [وعُثِرَ على جنين متشكل في متحجرة عينة واحدة لـ Polycotylus [ذي الفقرات الكوبية الشكل] وهو أحد الزواحف البحرية الأقرب إلى أشكال الزواحف البرية _أيْ: plesiosaurs البليسورات_ أيضًا]، وهو دليل على أن الزواحف ذوات الأشكال الشبيهة بالسمكية ichthyosaurs [والبليسورات plesiosaurs] على الأقل طورت عملية الولادة. كان للأجنة المتشكِّلة التي بعد الشهر الثالث المحفوظة كمتحجرات فكوك طويلة مدبَّبة، تُظْهِر أنها كانت قادرة على تغذية أنفسها مباشرةً بعد المولد، وكانت تولَد تابعةً للكبار كما في الحيتان. كل هذا يدل ضمنًا أن الزواحف ذوات الصفات الشبيهة بالسمكية ichthyosaurs كان لديها آليات [تقنيات] لتدريب الصغار على السباحة والتغذِّي، وهو يوحي بوجود عناية أبوية على مستوى شبيه بالخاص بالديناصورات (الفصل ١٢).

لا يبدو أن الزواحف الميزيَّة Mosasaurs كان سيسهُل عليها الخروج إلى الشاطئ لوضع البيض، ولم يُعْثَر حتى الآن على أجنة متشكِّلة ولا حتى أطفال مترافقة مع البالغين. لكنْ يوجد دليلٌ غير مباشر على أنها كانت تلد في البحر؛ فعظام الحوض كانت غيرَ عاديَّةٍ وفريدةً جدًّا. هذا قد يكون ببساطة نتجَ عن تكيفٍ للسباحة، لكنْ ربما وُسِّعَت عظام الحوض العادية لولادة نسل حي أكبر بكثير من أيِّ بيضٍ عاديٍّ.









كانت الزواحف السمكية الأشكال تلد، فقد طورت الولادة بدلًا من وضع بيض. (أ) ichthyosaur أنثى متحجرة أثناء وضع مولود، من العصر الجوارسي المتأخر في جرمانيا. (ب) و(ج) Stenopterygius quadriscissus [ذو الزعانف الضيقة] أنثى في بطنها أربعة أجنّة. متحف Urwelt Museum – جرمانيا. (د) ichthyosaur أنثى متحجرة مع طفل غير مولود وسط ضلوعها.







متحجرة لـ Polycotylus [ذي الفقرات الكوبية الشكل] وهو نوع من الـplesiosaurs ويحتوي التجويف البطني له على عظام ضئيلة أجزاء من بليسور آخر جنين متشكِّل لم يكن قد وُلِدَ عندما ماتت الأم، حيث كانت تلك الزواحف قد تطورت فيها عملية الولادة بدلًا من وضع البيض، وقد كانت هذه المتحجرة قبعت لعشرين سنة في السرداب [الدور تحت الأرضي] الخاص بمتحف لوس أنْجِلُس منذ اكتشافها في مزرعة في كنساس بأمِرِكا، حتى نظفها فريق علماء من الصخر المحيط بها فأدركوا أنهم يتعاملون مع حيوانين مستقلين كبير وطفل ونورد هنا متحجرة أخرى لزعنفة له محفوظة على نحو رائع.



رسم متخيل لأنثى Polycotylus [ذي الفقرات الكوبية الشكل] وهي أحد أنواع البليسورات plesiosaurs تلد طفلًا يخرج بذيله أولًا

كان للـ sauropterygians [الزواحف ذوات الزعانف] المبكرة أطراف كانت لتمكنها من سحب أنفسها خارجًا إلى الشاطئ لوضع البيض أو للولادة، أشبه بطريقة أسود البحر. إن الأطراف القوية تمامًا للـ placodonts [ذوات الأسنان المسطحة] وأحجام الأجساد الصغيرة للـ pachypleurosaurs [ذوات الضلوع السميكة] تجعل تصورَها على وجه الخصوص تصعدُ على الشاطئ أسهلَ. كانت الـ nothosaurs [الزواحف البحرية الشبيهة بالسحالي ظاهريًّا] والـ plesiosaurs [البليسوات: لزواحف البحرية الأقرب إلى أشكال الزواحف البرية] في العادة أكبرَ حجمًا بكثير، وكانت ستحتاج جهدًا ومشقَّةً أكبرَ بكثيرٍ لتسحب أنفسَها صعودًا إلى الشاطئ. ربما كانت الـ plesiosaurs [البليسورات] بأطرافها المُعدَّلة إلى أسطح انسياب مائي طويلة بحريَّة الحياة بالكامل، مع ولادتها لأطفالها في البحر مثل ما عليه الحال في الزواحف السمكية الأشكال ichthyosaurs المنقرضة والحيتان والدلافين [ملحوظة من المترجم: وهو تخمين صحيح علميًّا أثبتته متحجرات مكتَشَفَة جديدة بعد صدور طبعة هذا الكتاب الإنجليزية، كالمتحجرة المعروضة أعلاه للـ Polycotylus].

إن المتنفسين للهواء يخضعون أيضًا لقيد كاريير (راجع الفصل ١١)؛ فهم لا يستطيعون السباحة بسرعة لو ثَنَوْا أجسامَهم من جنبٍ إلى آخر. وكنظرائهم أقاربهم البريين، فإن الثدييات والطيور البحرية والمائية ليست لديها مشكلة، فأجسادها تتثنَّى إلى أعلى وأسفل أثناء سباحتها. أما الزواحف الميزيَّة أو الماوزيَّة mosasaurs _لكونها كانت سحالي_ فبالتأكيد لم تستطع السباحةَ بسرعةٍ لوقتٍ طويلٍ. عندما تطورت الـ nothosaurs [الزواحف البحرية الشبيهة بالسحالي ظاهريًّا] إلى الـ plesiosaurs [الزواحف البحرية ذوات الأشكال الأقرب إلى الزواحف البرية]، فقد تطور فيها أيضًا جذوعٌ صلبة حلَّت مشكلة قيد كاريير (قارن الصور ١٤– ٨ مع ١٤– ٩)، وكان طيرانها تحت المائي انعكاسًا ونتيجةً لتلك النقلة التطورية الكبيرة.

ماذا عن الزواحف البحرية السمكية الأشكال ichthyosaurs؟ إنها تبدو من متحجراتها سريعةً بالتأكيد، إلا أن زعنفتها الذيلية كانت تتثنَّى إلى الجانبين، ولا يبدو الجسد متصلبًا (الصور ١٤– ٣). أخبرني Ryosuke Motani أن حجم مراكز الفقرات يدل ضمنًا على صلابة كبيرة للعمود الفقري، وهو ما يدل ضمنًا بدوره على أن الزواحف السمكية الأشكال ichthyosaurs كانت قد حلَّتْ مشكلةَ قيدِ كاريير.

إن الكثير من الكائنات السابحة الكبيرة والقوية في العصر الحالي حارة الدماء [ذاتية تنظيم درجة الحرارة] بدرجة أو أخرى؛ مثل الكثير من أنواع اسماك القرش، والتونة، والعديد من أنواع الترَس [السلاحف البحرية]، وكذلك الدلافين والحيتان. يساهم جهد التمثيل الغذائي الخاص بالسباحة في تدفئة الجسد. بالتالي يستطيع المرء أن يخمِّن أن الزواحف البحرية السمكية الأشكال ichthyosaurs والزواحف البحرية الأقرب إلى اشكال الزواحف البرية plesiosaurs كانت حارَّةَ الدِماء. ونعلم من المتحجرات أن الزواحف البحرية السمكية الأشكال ichthyosaurs [والزواحف البحرية الأقرب إلى اشكال الزواحف البرية plesiosaurs] على الأقل كانت تلد أيضًا. هذا لا يجعل منها ثديياتٍ، لكنه يدل فعلًا على أنها كانت من أكثر الكائنات إثارةً للإعجاب. انقرضت كل هذه الزواحف البحرية الرائعة العظيمة [أو المَهيبة] تقريبًا عند نهاية العصر الطباشيري، بالإضافة إلى الديناصورات والزواحف المجنَّحة الإصبع الرابع [التيروسورات pterosaurs] وعدد كبير من اللافقاريَّات البحرية. لم ينجُ إلا التماسيحُ والترَس [السلاحف البحرية] لتعطينا بعض التلميحات أو الإرشادات بخصوص نمط حياة الزواحف الكبيرة الأحجام. للأسف، فإن هؤلاء الناجين أبعد ما يكونون عن صفة زواحف نمطية من دهر الحياة الوسطى.

تجديد أنواع النباتات البرية

عندما غزَتْ النباتاتُ مواطنَ أكثرَ جفافًا منذ العصر الديفوني فما تلاه، فإنها طورت طرقًا للحفاظ على الماء واحتجازه ووقاية مراحلها التناسلية من التجفُّف. كان التطور الكبير الرئيسي هو تحسين البذور، والتي هي أجنة نباتية مُخصَّبة مُغلَّفة في أوعية مانعة للماء على نحوٍ معقول ومملوءة بالغذاء. يستطيع جنين النبات البقاء في حياة مُرْجَأة [معطَّلة مؤقَّتًا] بداخل البذرة حتى يرتِّب النباتُ الأمُّ لنثره. يمكن تأجيل الإنبات حتى الانتقال إلى موقع ملائم ماوتٍ. ثم تشقُّ النبتةُ قشرةَ بذرتها وتنمو، مستخدِمةً الموادَ الغذائية التي في البذرةِ إلى أن تنمو جذروها وأوراقها على نحو كافٍ من جهة كبر الحجم والقوة لدعم النبات النامي والحفاظ عليه حيًّا.

تطورت البذور في العصر الديفوني المتأخر، وكانت نباتات السرخس ذوات البذور عنصرًا أساسيًّا ناجحًا في مستعمَرات الحياة النباتية الخاصة بدهر الحياة القديمة، بما في ذلك غابات العصر الكربوني، وقد ازدهرت حتى أول العصر الترياسي. لكن عاريات البذور الخاصة بدهر الحياة الوسطى حسَّنَتْ نظامَ البذور، وكوَّنَتْ ٦٠% من أنواع العصر الترياسي و٨٠% من أنواع العصر الجوارسي. تتضمن عاريات البذور الصنوبريَّات conifers والسيكاسيات

cycads وأشجار الجِنْجكو أو الجنكة gingkoes. كان بغابات عصر دهر الحياة الوسطى أشجار بطول ٦٠ مترًا (٢٠٠ قدم) ارتفاعًا، والتي كوَّنَت طبقاتٍ متحجراتٍ شهيرة مثل الغابة المتحجرة في أريزونا. كانت الصنوبرياتُ النباتاتِ البريَّةَ السائدةَ خلال العصر الجوارسي والطباشيري المبكر، ولا تزال حتى اليوم إلى حدٍّ كبير أنجح عاريات البذور. في نهاية الأمر، حوالي التخم الجوارسي– الطباشيري، تطورت النباتات المُزْهِرة أو وعائيات البذور وصارت آخر الأمر مهيمنةً على مستعمَرات الحياة النباتية.

للتكاثر الخاص بالنباتات ذوات البذور مرحلتان؛ وهما التلقيح ونثر البذور. يجب أن يُلقَّحَ النباتُ، وبعد أن تتكوَّنَ البذور يجب أن تُنْقَلَ إلى موقع أو مواقع ملائمة للإنبات. أحد العوامل الرئيسية في تطور وعائيات البذور هو تلاعبها بالحيوانات لتقوم بهاتين المهمتين لها.

نباتات دهر الحياة الوسطى والتلقيح

تُلَقَّح الصنوبريَّاتُ والكثيرُ من النباتات الأخرى عن طريق الرياح. إنها تُنتِج عددًا هائلًا من حُبَيْبات اللقاح، والتي تُطْلَقُ لتطير مع الرياح على أمل أن بعضها سيصل إلى مستقبِل حبوب اللقاح الخاص بنبات أنثى من نفس النوع. التلقيح بالرياح يعمل، تمامًا كما يعمل [أو يصلُح] نثر المني والبييضات في المحيط بالنسبة للكثير من اللافقاريَّات البحريّة. لكن تلك العملية تبدو مكلِّفةً جدًّا. إن مساحة مستقبل حبوب اللقاح في الصنوبريَّات مساحته حوالي مليمتمر واحد مربع فقط، بالتالي لتحقيق احتمالية تلقيح معقولة، يجب إشباع المخروط الأنثوي بحبيبات لقاحٍ بكثافةِ قُرابةِ مليون حُبَيْبة لقاحٍ لكل متر مربع.

تقوم النباتاتُ الأبويةُ ببعض الأشياء لتخفيض تكاليف التلقيح بالرياح. فكمثالٍ، تُطْلِقُ المخاريط المذكَّرة حُبَيبات اللقاح في طقسٍ جافٍّ في ظروف الرياح الملائمة تمامًا، والمخاريط الأنثوية مشكَّلة من الناحية الهوائية الديناميكية لتعمل كجامعات حبوب لقاح فعّالة كفؤة. لكنْ في الواقع ومن النواحي العملية، يكُونُ التلقيحُ بالرياحِ ناجحًا باستمرارٍ فقط لو كان الكثير من الأفراد من نفس النوع يعيشون في مجموعات مُكتَظَّة محزومة متقاربة من بعضها البعلض؛ كالصنوبريَّات في الغابات المعتدلة المناخ أو الأعشاب في المروج والأراضي السهلية المعشوشبة [الساڤانات]. إن وضعًا إيكولُجيًّا [اعتياشيًّا] مثل غابة استوائية مطيرة _حيث يكون أفراد الكثير من أنواع النباتات متناثرين مُبدَّدين تمامًا_ ليست المكانَ الذي يصلُح فيه التلقيحُ بالرياح.

نستطيع تصور مستعمَرات الحياة النباتية في العصر الجوارسي التي اعتمدت على التلقيح بالرياح، حيث كانت النباتات مستعدة لإطلاق إمدادات كبيرة من حُبيبات اللقاح. عندئذٍ بحثت الحشرات على الأرجح _كما هو عليه الحال اليوم_ عن الطعام الذي توفره حُبَيْبَات اللقاح الوفيرة والأعضاء النباتية الأنثوية الطرية الغير ناضجة المنتظِرة للتلقيح. إننا نعلم أنه كان هناك خنافس كبيرة الأحجام ثقيلة الحركة في العصر الجوارسي، فعلى الأرجح أنها زارت النباتات لأجل التغذِّي. وعندما كانت تتحرك من نباتٍ إلى آخرَ، فربما زارت نفسَ نوعِ النبات على نحوٍ متكرر، جامعةً وناقلةً حُبَيْبات اللقاح بالمصادفة. يمكن للحشرات المساعدة حتى بزيارة نبات واحد أو نفس الجنس؛ ففي بعض عاريات البذور من السيكاسيات cycads الحيّة المعاصرة_مثلًا_ تحمل الرياحُ حُبَيباتِ اللقاحِ فقط إلى سطح المخروط الأنثوي، لكنَّ الحشراتِ تتجمَّعُ حول المخروط [الأنثوي] حاملةً إياها [عَرَضِيًّا] إلى مستقبِلات حُبَيْبات اللقاح.

بمرور الزمن، ربما تطورت بنية النباتات باتجاه التعاون مع الحشرات بطُرُقٍ مُعَيَّنةٍ. ربما كانت البنيوات الرقيقة محميّة، لكن حُبَيْبات اللقاح جُعِل جمعُها اسهلَ، وحُرِّكَت [نُقِلَ مكان] جامعات حبوب اللقاح الأنثوية بحيث صارت أقربَ إلى قاذفات حبيبات اللقاح المُذكَّرة. كانت تلك التغيرات ستجعل نقل حبيبات اللقاح عن طريق الحشرات أكثر إمكانيةً، وأقل تكلفةً على النبات. ربما تطورت أدواتٌ لجذب الحشرات _الروائح القويّة في البداية ثم الزهور الملونة الوضيئة_ جنبًا إلى جنب وبجوار المكافآتِ مثلِ الرحيقِ.

النباتات التي جذبت الحشراتِ بنجاحٍ استفادت من زيادة فرصها لأن تُلَقِّح وتُلَقَّح. تُوصل الحشراتُ حُبَيْباتِ اللقاح على نحوٍ أكثرَ فعاليةً من الرياح.

ينبغي أن يكون الملقِّحُ المثاليُّ قادرًا على الوجود إلى حد كبير عند حبوب اللقاح والرحيق، بحيث يستطيع جمع كل متطلباته الغذائية بزيارة النباتات. وينبغي أن يزور أكبر عدد ممكن من النباتات المتماثلة من نفس النوع، ولذلك ينبغي أن يكون سريعًا وسريعَ الحركة ورشيقًا. ينبغي أن يكون لدى الملقِّحِ الليليِّ حاسةُ شمٍّ جيدة، أما الملقِّح النهاري فينبغي أن يكون لديه بصرٌ جيد أو حاسَّةُ شمٍّ جيدة أو كلاهما.

كان المرشَّحون الوحيدون في العصر الجوارسي المناسبون لهذا التوصيف الوظيفي هم الحشرات. فلم تكن الطيور والخفافيش قد تطورت بعدُ، وكانت الثدييات الصغيرة الأحجام كسولةً للغاية على الأرجح. كان لدى الحشرات الملقِّحةِ حافزٌ متزايدٌ لتعلم وتذكر روائح ومناظر معيَّنة، وتلك التي تطور فيها تمييزٌ سريع خالٍ من الأخطاء لمصادر حبوب اللقاح وبحث ذكي عن الأنماط للعثور عليها صارت جامعاتِ غذاءٍ أكثرَ تفوقًا وعلى الأرجح متكاثراتٍ أكثر تفوقًا. في العصر الحالي، تُمَيِّزُ الحشراتُ بقوةٍ بين أنواع النباتات، وحتى بين التباينات [الاختلافات] اللونية الخاصة بنوع معيَّن. تتجمَّع بعضُ الحشراتِ للتزاوج حول أنواع معيَّنة من النباتات.

المجنوليَّات Magnolias[1] وحشرات العثّ، والسيكاسيّات cycads والخنافس

كانت زهور العصر الطباشيري المبكر _رغم أنها كانت صغيرة الأحجام_ لديها بتلات [تُوَيْجات] كبيرة نسبيًّا (الصورة ١٤– ١٣)، وقد أنتجت تلك الزهورُ على الأرجح الكثيرَ من البذور الصغيرة. إن فصيلة Winteraceae ["القيقبيّات الشتوية" من رتبة المجنوليّات] الحية المعاصرة أشجار بدائية متوسطة الأحجام ذات قرابة مع المنجوليَّات، ويعود تاريخ متحجراتها قِدَمًا إلى زمن العصر الطباشيري المبكر. يوجد حوالي ٥٠ نوعًا أو نحو ذلك من القيقبيّات الشتوية Winteraceae في العصر الحالي في الغابات الاستوائية الرطبة.



الصور ١٤– ١٣ كانت الزهور الجميلة قد تطورت في العصر الطباشيري المبكر. متحجرات ورسما إعادة بناء لـ Archaeanthus [الزهرة القديمة الشبيهة بالمنجوليَّة]، وهي زهرة اكتُشِفَتْ في صخور العصر الطباشيري المبكر في الصين.

للقيقبيّات الشتويَّة نظامُ تلقيحٍ رائعٌ. حيث تُزْهِر تلك الأشجار طوالَ الصيف، لكنْ لا يكون هناك أبدًا أكثر من زهور قلائل مفتوحة في المرة الواحدة (عادةً زهرة واحد لكل شجرة). تعيش كل زهرة ليومين. في اليوم الأول تُظْهِر أعضاءً أنثوية، وفي صباح اليوم الثاني تَمُدُّ [تُظْهِر] أعضاءً مُذكَّر، وهكذا تتجنب التلقيح الداخلي [التكثير بدون تهجين مع أفراد آخرين للنبات]. في اليوم الثاني تُنتِج مرحلة العضو المذكَّر حُبَيباتِ لقاحٍ في زيتٍ مُغذٍ لزج. ينجذب عثٌّ بدائي إلى الزهرة ويتغذّى على حبيبات اللقاح المُزَيَّتة، مما يجعل الكثير منها يشتبك بجسده ويجف عليه. تصل حشرات العث إلى الشجرة في دستات وهن طائراتٌ قويَّات. ويُحتمَل أن يمضين إلى شجرة أخرى بعدما يُزِلْنَ كل حُبَيبات اللقاح الذكرية.

---

١ الماجنوليا [الماغنوليا] (الاسم العلمي:Magnolia) هو جنس نباتي يتبع فصيلة الماجنولية من رتبة الماجنوليات. يضم ٢١٠ أنواع أهمها الماجنوليا كبيرة الزهر. موطنها الأصلي جنوب شرق الولايات المتحدة. سميت نسبةً إلى عالم النبات الفرنسي بيير مانيول أو بيير ماجنول حسب اللفظ الإنكليزي. ظهر هذا الجنس قبل ظهور النحل، ولهذا فالنبتة مصممة لتسهيل التأبير بالخنافس. لها أخبية متينة لمقاومة أي ضرر يمكن أن تحدثه الخنافس. موئلها الأساسي في شرق وجنوب شرق آسيا ولها موئل ثانوي في شرق أمريكا الشمالية وأمريكا الوسطى والكاريبي.

تُطلِق مرحلةُ العضوِ الأنثويّ عطرًا قويًّا، لكنها لا تقدِّم أيَّ طعامٍ للعثِّ. بدلًا من ذلك، يبدو أن العطر يعمل كمحفز على التزاوج. تنجذب كلٌّ من حشرات العثِّ الإناث والذكور بأعدادٍ كبيرة إلى الزهور، وفي الحركة الاستعراضية السريعة المُتضمَّنة، تُوَصَّل حُبيبات اللقاح المجموعة سابقًا من شجرة أخرى إلى الميسم الأنثوي الخاص بشجرة غيرها [الميسم: الجزء الأعلى من مدقة الزهرة، وهي عضوها الأنثوي].

إن العثَّ المُتضمَّن في عملية التلقيح هن ضمن أكثر الأنواع المعروفة بدائيةً. فبدلًا من أجزاء الفم الماصَّة الخاصة بجمع الرحيق، لديهن فكَّانِ طاحنان يستعملنهما في مضغ حبيبات اللقاح والأبواغ. إن سجلهن الحفريَّ يعود أيضًا في القِدَم إلى العصر الطباشيري المبكر، بالتالي فذلك النوع من التلقيح ربما يكون قديمًا جدًّا في الواقع، ولعله مرشد جيد لسبب نجاح وعائيات البذور المُبكِّرة. لدى الكثير من وعائيات البذور الأخرى الشبيهة بالمنجولية زهور عَطِرة كبيرة، حيث تتجمَّعُ الحشراتُ لتتغذَّى وتتزاوج وفي غضون ذلك تقوم بتلقيح النبات.

ليست وعائيّاتُ البذورِ البدائيةُ النباتاتِ الوحيدةَ التي تلقّحها الحشراتُ؛ فعاريات البذور الحيَّة المعاصرة مثل السيكاسيّات cycads كثيرًا ما تُلَقِّحها الحشراتُ. رغم ذلك، يعتقد كثيرٌ من العلماء أن نجاح وعائيّات البذور بدأ عندما تجمَّعَتْ الحشراتُ لتتزاوجَ في و حَوْلَ زهورها، مُشَجَّعَةً في البدءِ بالعطور.





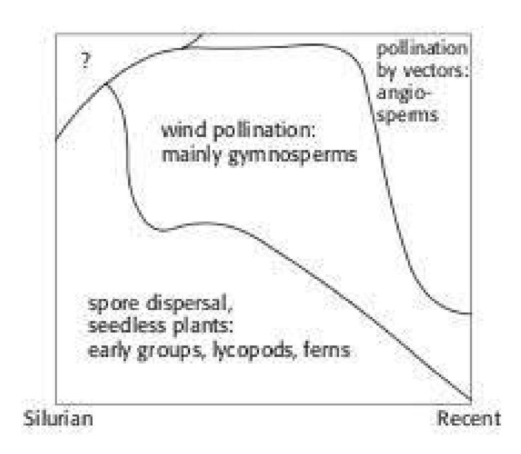
من السيكاسيّات: أوراق ومخروط Encephalartos sclavoi معاصر مخروطان ذكريان أحدهما قديم والآخر جديد لـ Cycas circinalis معاصر

يمكن للتلقيح بالحيوانات أنْ يُوصِل كميةً كبيرةً من حُبَيْبات اللقاح على ميسم الزهرة، بدلًا من حُبيبات قلائل مُطَيَّرةً بالريح. التنافس بين حُبَيبات اللقاح المُفرَدة على تلقيح البييضة يسمح لوعائيَّات البذور الإناث بخيارات تزاوجية أكثر مما في النباتات الأخرى (راجع الفصل ٣). إن حُبيبات اللقاح أحادية الصبغية [تحمل نصف العدد الطبيعي لكروموسومات الكائن الحي]، بالتالي لا يمكن لها أن تحمل جيناتٍ صفاتٍ متنحّية (على عكس ما هو لدينا كبشر). يستطيع النبات الأنثوي نظريًّا اختيار حبيبات لقاح معيَّنة بدلًا من أخرى عن طريق وضع عوائق كيميائية أو فيزيقية بين الميسم والبييضة؛ وتُخْتار أول حُبَيْبة لقاح تخترق العائق مفضَّلةً على الحُبَيبات الأخرى للتلقيح. من الناحية التجريبية، فإن النباتات التي يُسمَح لها بممارسة اختيار حُبَيْبات اللقاح بهذه الطريقة يكون لها سلالة أقوى من الأخريات. هذا الجانب من تكاثر وعائيَّات البذور ربما كان ولا يزال أحد أهم عوامل نجاحها.

بالتأكيد، شجَّعَ التلقيحُ على تنوعٍ هائلٍ في الملقِّحين عندما صاروا يتخصصون على نحوٍ متزايدٍ في نباتاتٍ معيَّنةٍ. إن الارتفاع المذهل في تنوع الخنافس والنحل بدأ في العصر الطباشيري، وهناك في العصر الحالي عشرات آلاف الأنواع لكل جنسٍ منهما. إن الخنافس والنحل المترافقين [المرتبطين] مع وعائيّات البذور أكثر تنوعًا بأضعافٍ كثيرة من المترافقين مع عارية البذور.

رغم ذلك، فلا يمكن أن يكون التلقيح وحده كل القصة؛ فالحشرات تساعد في تلقيح السيكاسيَّات [أو السيكاديَّات cycads] أيضًا، إلا أن وعائيّات البذور ناجحة على نحو هائل بينما تَكُوْن السيكاسيَّات دائمًا مجموعةً صغيرةً من النباتات بالمقارنة. الكثير من النباتات الأخرى الخاصة بدهر الحياة الوسطى "أجرت تجاربَ" على [أو بالأحرى انْتُخِبَ فيها أفضل] طرق حث الكائنات المتعضِّية على نقل حُبَيْبات اللقاح، وقد تطورت التراكيب الشبيهة بالزهرة أكثر من مرة.

علاوة على ذلك، لو كان التلقيح هو مفتاح نجاح وعائيات البذور، لكانت الزهور تطورت حالما صارت الحشرات الطائرة وفيرةً في العصر الكربوني المتأخر. هناك بعض الإشارات على أن تلقيح الحشرات بدأ عندئذٍ كشيءٍ نادرٍ. لكنَّ وعائيات البذور ظهرت لاحقًا بكثيرٍ زمنيًّا وعلى نحو مفاجئ حقًّا في العصر الكربوني المبكر (الشكل البياني ١٤– ١٤). بالتالي، فإن نجاح وعائيات البذور ليس مرتبطًا بمجرد تطور الزهور فيها. في الواقع، فإن كل نباتات دهر الحياة الوسطى التي كانت مُلقِّحاتُها الحشراتِ يجب أنها دفعت ثمنًا كبيرًا للتلقيح، يتمثل في التضرر والتلفيات بفعل الحشرات.



الرسم البياني ١٤– ٤ نسبة النباتات التي يلقحها الناقلون ازدادت بحدة في العصر الطباشيري مع ظهور وعائيات البذور. لكن نظرًا لأن الكثير من أولئك الناقلين _كالحشرات كمثال_ كانوا موجودين منذ العصر الكربوني المتأخر، فلا بد أنه قد كانت هناك اسباب أخرى أكثر لازدهار وصعود وعائيات البذور، غير التلقيح من جانب الناقلين. [يظهر في الرسم منذ العصر السيلوري وحتى الحالي: نثر الأبواغ في النباتات عديمة البذور كالمجموعات المبكرة وذئبيات الأرجل والسرخسيات؛ ثم التلقيح بالرياح في عاريات البذور على نحو رئيسي، ثم التلقيح بالناقلين من الحيوانات في وعائيات البذور.

نباتات دهر الحياة الوسطى ونثر البذور

إنْ تسقطْ البذورُ تحت النبات الأبوي، فقد تُظلَّل بحيث لا تستطيع النمو، أو قد تأكلها الحيوانات السائرة أو الطيور التي قد تعلمت أن البذور الشهيّة كثيرًا ما توجد تحت الأشجار. تعتمد الكثير من النباتات على الرياح لنثر بذورها. أحيانًا تكون البذور مزوَّدة بمظليَّات أو أسطح انسياب هوائي ضئيلة لتساعدها على السفر بعيدًا عن النبات الأبوي؛ لقد تطورت البذور المجنَّحة بُعَيْد وتقريبًا حالما تطورت البذورُ نفسُها، في العصر الديڤوني المتأخر.

لكن البذور المنثورة عن طريق الرياح كثيرًا ما تقع في أماكن كارثية بالنسبة لها. رغم أن النثر بالرياح يعمل، فإنه يبدو مبذِّرًا مُهْدِرًا جدًّا؛ فهو يمكنه أنْ يَصلُحَ فقط في النباتات التي تنتِج عددًا كبيرًا من البذور. يجب أن تكون البذور المنثورة عن طريق الرياح خفيفةً، لذلك لا يمكنها حمل الكثير من الطاقة [الغذائية] لأجْل نمو النبتة. فيكون عليها أن تَنْبُتَ في مناطقَ مضيئة جيدًا نسبيًّا، حيث يمكن للنبتات أن تقوم بالتركيب الضوئي بُعَيْد انبثاقها من الأرض.

بدلًا من ذلك، يمكن لنباتٍ أن تُحْمَلَ بذورُه عن طريق حيوانٍ وتُسقَط في مكانٍ جيد للنمو. تستطيع الكثير من الحيوانات حمل بذور أكبر مما تستطيعه الرياح، وتستطيع البذور الأكبر حجمًا أن تنبُتَ بنجاحٍ في أماكنَ أكثرَ ظلامًا. وكما في عملية التلقيح، يجب أن يُحَثَّ الحيوان أو يُخْدَعَ أو يُدْفَعُ له لكي يساعد في نثر البذور.

تزور بعضُ الحيواناتِ النباتاتِ للتغذِّي على حبيبات اللقاح أو الرحيق، وترتعي أخرى على أجزاء من النباتات. بينما تمشي [حيواناتٌ] أخرى بجوار النباتِ فقط وتمسها [تحتك بها] أثناء مرورها. ربما تُلتَقَط بذورٌ صغيرة عَرَضِيًّا صُدفويًّا خلال تلك الزيارة، وخاصةً إذا كان للبذور خطاطيف أو أسطح خشنة أو صمغ للمساعدة في لصقه بالزائر المُشَعَّر أو المُرَيَّش. ربما تُحمَل بعضُ تلك البذورِ لمسافةٍ ما قبل أن تنفصل وتقع. ربما يأكلُ الثمارَ الصغيرةَ الأحجامِ نباتيٌّ زائرٌ، لكن قد يمر بعضها غيرَ مُتَضَرِّرٍ عبْرَ صف الأسنان القارضة أو الطاحنة، من خلال المعدة وعصاراتها الهاضمة، لكي تودَع تلقائيًّا في كومة من السماد [الرَوَث].

تواجه النباتاتُ مشكلتين مختلفتين في حث الحيوانات على نشر وبعثرة بذورها وفي حثها على القيام بالتلقيح. في عملية التلقيح كثيرًا ما يكون هناك دفعٌ مقابل توصيل حبيبات اللقاح؛ يجمع الملقِّحُ الرحيقَ أو مكافأة أخرى عندما يلتقط حبيبات اللقاح وعندما يُوُصِلها من جديد. ليس هناك مثل ذلك المقابلِ أو الدفع في توصيل بذرة. في حال كان هناك أيُّ دفعٍ يدفعه النباتُ مقدَّمًا، بالتالي لمَا كان سيكون هناك مقابلٌ أو دفعٌ موضوعٌ كجزء متأصل داخلي من

العملية لموزِّعي البذور مقابلَ التسليمِ الفعلي للبذرة. بالتالي كان سيكون من الأفضل لهم أن يَخدَعوا ويغدروا ويأكلوا كلَّ بذرةٍ. بالتالي كثيرًا ما تعتمد النباتاتُ على الخدع (الحواف الخشنة، كمثال) لتثبيت البذور على موزعيها. لقد طوَّرَتْ النباتاتُ ما يُشبِه شريط الفِلْكرُو Velcro الرابط أو السحَّابات المكونة من خطافيَّات ووبر أو الأزرار الخطَّافية [Velcro اسم تجاري لشريط رابط يتألف من شريط من النايلون على سطحه خطاطيف دقيقة تتشابك مع شريط مقابل على سطحه وبر غير مقصوص، يُستخدَم على نحو أساسي في الملابس والحقائب والأحذية الرياضية] منذ زمنٍ طويل قبل أن يقلد الإنسانُ الذكيُّ هذه الفكرةَ. بدلًا من ذلك، يمكن أن تحزم النباتاتُ الكثيرَ من البذور الصغيرة في حبّة فاكهةٍ بحيث تحتشد ناثرات البذور [من الحيوانات] على الفاكهة وتبتلع البذورَ بدون سحقها (كما في ثمار الفراولة، كمثال).

تشجِّع وتدعو بعضُ النباتاتِ في الحقيقة إلى ابتلاع بذورها. فقد تطوَّر فيها غطاء شهيٌّ حول البذرة (ثمرة لُبِّيّة [ثمرة بسيطة لحيمة كالعنب والطماطم] أو فاكهة)، ولو أكل الحيوان السائر أو الطائر البذورَ مع الفاكهة، فإن كل بذرة ناجية تُزْدَرَع [تُطْمَر، تَثْبُت] تلقائيًّا في سمادٍ. الثمار الضئيلة يُرَجَّح أن تُبْتَلَعَ بدون أنْ تُمْضَغَ، لكنها يمكنها حمل غذاء قليل لأجْلِ الجنين المُتَنَمّي. أما البذور الكبيرة المُحَمَّلة المحشوّة بالغذاء فكثيرًا ما تكون محميَّة بغلاف قوي للبذرة أو مغلَّفة داخل جوزة.

إن توزيع البذور عن طريق الحيوانات ليس خدمةً بدون تكلفةٍ. تأكل الكثيرُ من ناشراتِ البذورِ بذورَ النباتات، مُمَرِّرةً قليلًا فقط من النباتات سالمةً عبْرَ معِداتها. بالتالي هناك خسارة وفقد كبير للبذور، والذي يعتمد كمّها على توازنٍ دقيقٍ بين غلاف البذرة وقوة أسنان ومعدة الحيوان الناشر للبذور. فلو كان غلاف البذرة أقوى وأقسى من اللازم، سيتحول ناشر البذور إلى طعام اسهل أو سيكون الإنبات صعبًا للغاية. ولو كان غلاف البذرة أضعف من اللازم، ستُدَمَّر الكثير للغاية من البذور. إن بعض النباتات متكيِّفة بدقة للغاية مع ناشر بذور معيَّن لدرجة أن البذور تبنت على نحو جيد فقط لو أكلها ذلك الناشر للبذور.

لقد طوَّرَتْ وعائياتُ البذورِ المدقَّاتِ [أو الخِباءات carpels] كحماية جديدة وفريدة لبييضاتها الملقَّحة، ثم في آخر الأمر لحماية البذور المُتَنَمِّية (الصور ١٤– ١٥). لقد تطورت المدقات على الأرجح للحماية من الحشرات الكبيرة الأحجام الجائعة. رغم ذلك، سرعان ما بدأ غلاف بذور وعائيات البذور في حماية البذور أثناء مرورها من خلال مَعِدة الحيوان الفقاري. كانت البذرة ذات الغلاف القوي مقاوِمةً للكثير من المفترِسين المُحتَمَلين، لكن لعلها صارت في نفس الوقت طعامًا مُحبَّبًا مرغوبًا بـه لإحدى أو بعض أنـواع الحيوانات التي استطاعت كسر غلاف البذرة. يستطيع النبـاتُ أن يُطَـوِّرَ علاقـةً ثابتـةً مـع مفترِسي بذورٍ قلائل كأولئك. فالمفترِسون سيحصلون على طاقة كافية من البذور لجعلهم يزورون النباتَ بانتظامٍ، لكنهم سيمررون كمية كافية من البذور السليمة عبر مُعِداتهم مما سيفيد النباتَ أيضًا.

لقد تطور توزيع البذور عن طريق الحيوانات بالتأكيد بعد تطور عملية التلقيح بالحشرات. ربما كانت حشرات العصر الجوارسي قد صارت ملقِّحاتٍ جيدة، لكنها كانت أصغر حجمًا من أن تصلُح كناقلات بذور على مدى واسع. أما زواحف العصر الجوارسي فكانت كبيرة الأحجام على نحوٍ كافٍ، لكنها كثيرًا ما كان لها معدلات تمثيل غذائي بطيئة، بالتالي فأي بذرور كانت تبتلعها تعرضت لعصارات هضمية لوقتٍ طويل. ليس للزواحف حتى فروٌ يمكن أن تشتبك به البذور (رغم أن الديناصورات اللاحمة السائرة على قدمين theropods ربما كان لديها!).

لقد نشرَتْ الديناصوراتُ بلا شكٍّ البذورَ إلى حدٍّ ما، حيث أن الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischians وذوات الأرجل الشبيهة بالخاصة بالسحلية sauropods الضخام آكلات النباتات أكلت كميات كبيرة من النباتات. لكن رغم حجم السماد المخرَج الذي لا بد أنه أحاط بالبذور التي مرت من خلال أمعاء الديناصورات، فقد أتلفت وداست الديناصوراتُ النباتية على الأرجح النباتاتِ أكثرَ مما ساعدَتْها. إنه لَغيرُ مُرَجَّحٍ أنَّ أيَّ نباتٍ في دهر الحياة الوسطى Mesozoic شجَّعَ الديناصوراتِ على الارتعاء.

يمكن للنقل الفعّال عَبْرَ مسافةٍ بعيدة أنْ يأخذ بذرةً خارج النطاق المعتاد لمفترِسيها وأمراضها، ويُمْكِنُ أن يُمَكِّنَ ويَسْمَحَ لنباتٍ بأن يصير منتشِرًا على مدىً واسعٍ جدًّا بشرطِ أن يكونَ هناكَ مُلَقِّحينَ في موطنه الجديد. عندما تكيفت وعائياتُ البذور لنشر البذور عن طريق النباتات، انتشرت على الأرجح في مواطن جديدة أسرعَ بكثيرٍ من [رُتَبِ] النباتات الأخرى. وفي حال كانت كل الأمور كما نتوقعها، فلنا أن نتوقع زيادةً درامية [كبيرة مفاجئة] في سجل

متحجرات وعائيات البذور حالما تكيفت باتجاه انتشار البذور عن طريق الحيوانات بدلًا من الرياح. تُلَقَّحُ بعضُ وعائيات البذور الحية المعاصرة عن طريق الرياح لكنْ تنشُرُ بذورَها الحيواناتُ. هذا يتضمن الأعشابَ [النجيل، الحشائش]، والتي لم تتطور حتى دهر الحياة الحديثة Cenozoic تمامًا.

لقد علمنا أنه كانت هناك حيوانات ناقلة للبذور فعَّالة قلائل في العصر الجوارسي، وأن الديناصورات لم يكونوا مُرشَّحين محتمَلين في العصر الطباشيري. اقترح Philip Regal أن الطيور والثدييات أطلقوا تشعُّبَ وعائياتِ البذور بمساعدتها على نشر بذورها. للطيور ريش وللثدييات فرو تشتبك به البذورُ بسهولة؛ وتُمَرِّر البذورُ سريعًا من خلال أمعاء أجسادها الصغيرة ذوات معدَّلات التمثيل الغذائي العالي ويُرجَّح ألا تتضرَّر ما لم تمضغها الحيوانات قصدًا. كانت بذورُ وعائيّاتِ البذورِ مناسبةً على نحوٍ خاصٍّ للنقل عن طريق الفقاريّات بسبب تغليفها الواقي الإضافي. عادةً فإن بذور الصنوبريّات صغيرة وخفيفة، متطورة لتطير مع الريح، وتعتمد الصنوبريات على تقارب مجموعتها لأجْلِ التلقيح. أشجار الصنوبريات المعزولة يُرَجَّحُ أن تكون غير ناجحة تكاثريًّا، والنقل الإضافي لبذورها لا يحقق إلا فارقًا ضئيلًا في نجاحها على المدى الزمني الطويل.

رغم ذلك، فقد حدث تشعب وعائيات البذور المبكر في العصر الطباشيري المبكر والأوسط، عندما كانت الثدييات والطيور لا تزال أعضاءً ثانويين في النظام البيئي الإيكولُجِيّ [الاعتياشي، المتعلق بالأدوار البيئية]. ربما يمكن تفسير هذا النجاح المبكر لوعائيات البذور على نحو أفضل بفرضية "الإنبات السريع من البذرة". تقوم هذه الفكرة على أساس حقيقة أن بذور وعائيات البذور تنبُتُ سريعًا، وتنمو النبْتات النابتة من البذور أسرعَ وتقوم بالتركيب الضوئي أفضل من نبتات عاريات البذور. لقد تغلبت وعائيات البذور بوضوح على عاريات البذور في سباق التنافس على الأماكن المتاحة.

تنطبق فكرة Philip Regal على نحوٍ أفضلَ على التشعب اللاحق للثدييات والطيور البرية في دهر الحياة الحديثة Cenozoic، عندما ازدادت وعائياتُ البذور على نحو كبير تنوعًا وحجمًا ووفرةً، وهيمنت على معظم مستَعْمَرات الحياة النباتية البريّة. في العصر الحالي تُميِّز نباتاتُ السرخس البيئات الرطبة فقط، وتسود الصنوبريات على نحو رئيسي في الغابات المعتدلة، وباقي النباتات القديمة الأخرى كالسيكاسيّات cycads وأشجار الجنجكو gingkoes نادرة.

أثبتَ Bruce Tiffney أن بذور وعائيات البذور الخاصة بدهر الحياة الحديثة Cenozoic كانت أكبر بكثير من بذور وعائيات البذور الخاصة بالعصر الطباشيري. إن قدرة وعائيات البذور على أن تصير الأشجار المهيمنة في الغابات في الأنظمة الإيكولُجِيَّة، وتطورها الناجح الخاص بنشر البذور الكبيرة الأحجام بمساعدة الحيوانات السائرة والطيور كانت أحداثًا في دهر الحياة الحديثة المبكر.

لقد قدَّمَ صعود وعائيات البذور لتهيمن على الحياة النباتية وفرةً من الغذاء للحيوانات ناشرة البذور. لقد تشاركت الطيورُ والثديياتُ الصغيرةُ الأحجامِ _وخاصةً الرئيسيّات المبكرة والخفافيش_ كلها وظائف أكل البذور والفواكه في دهر الحياة الحديثة المبكر. لا تزال بعض الزهور الاستوائية في العصر الحديث تعتمد في التلقيح على الخفافيش [خفافيش الفاكهة] أو الثدييات الجِرابيَّة أو حيوانات الليمور [الشَرِه، الهبَّار].

نستطيع تصور مجموعة كاملة من الملقِّحين وناشري البذور يتطورون معًا مع النبات الذي يتخصصون فيه. بالنسبة لمعظم النباتات، كان سيكون الأفضلَ ليس فحسبَ أن تكون واضحةً، بل ومختلفة عن باقي أنواع النباتات أيضًا، لتشجيع الملقِّحين والقاصدين للبذور على أن يكونوا زائرين مُخلِصين.

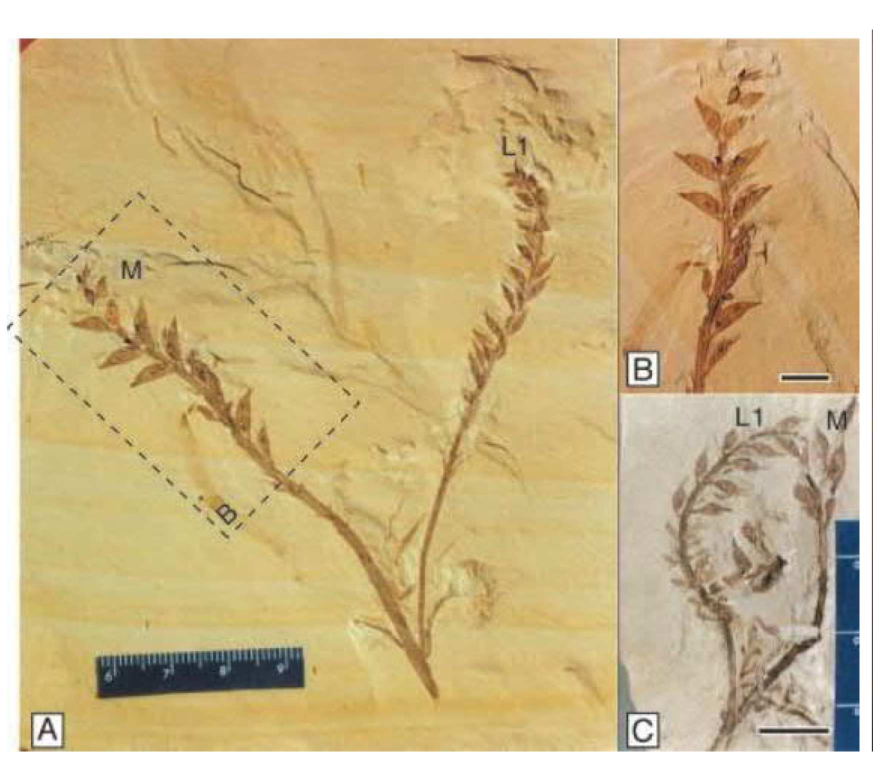
افترِضْ أن تقنياتٍ معيَّنة مطلوبة مُستلْزَمة لاستخراج البذور أو حُبَيْبات اللقاح من نباتٍ. إن زائرًا يتعلم سر ذلك سيمتلك أفضلية [أو ميزة] على باقي الحيوانات الأخرى وسيميل إلى أن يزور ذلك النوعَ من النبات بدلًا من البحث عشوائيًّا، والذي قد يتطلب تعلمَ تقنياتِ جمعٍ عديدةٍ. يُحتمَل أن يزور غرباءُ قلائلُ النباتَ ويسلبوا زائريه الاعتياديين مكافآتِهِم أحيانًا. لكنْ يُرَجَّح ويُحتمَل أكثرَ بكثيرٍ أنْ يُلَقَّحَ النباتُ أو تُنشَرَ بذورُه من قِبَلِ زائرين مخلصين من أن يحدث ذلك من قِبَلِ مرتعين عشوائيين. إن حشرةً ما _والتي تمتلك حياة بالغ قصيرة، وذاكرة محدودة، وقدرة محدودة على التعلم_ يُرَجَّح أكثرَ أن تكون ملقِّحًا مُخلِصًا لأول نبات تتعلم التغذي عليه، أو للنوع الذي هي مُبرمَجة عليه جينيًّا [وراثيًّا]. يسهُل تصورُ تطورِ تنوعٍ كبيرٍ من الزهور الوضيئة القوية العطور والفواكه، سويًّا مع تنوع كبير من ملقِّحيها المتخصِّصين والباحثين عن البذور. وفوق ذلك، ربما كان تطور الزائرين المخلصين [المتخصصصين] حدثًا متأخرًا أكثر بكثير من تطور وعائيات البذور أنفسِها. في دهر الحياة الحديثة المبكر فقط تُظهِر متحجرات وعائيات البذور بالفعل أدلةً على التلقيح

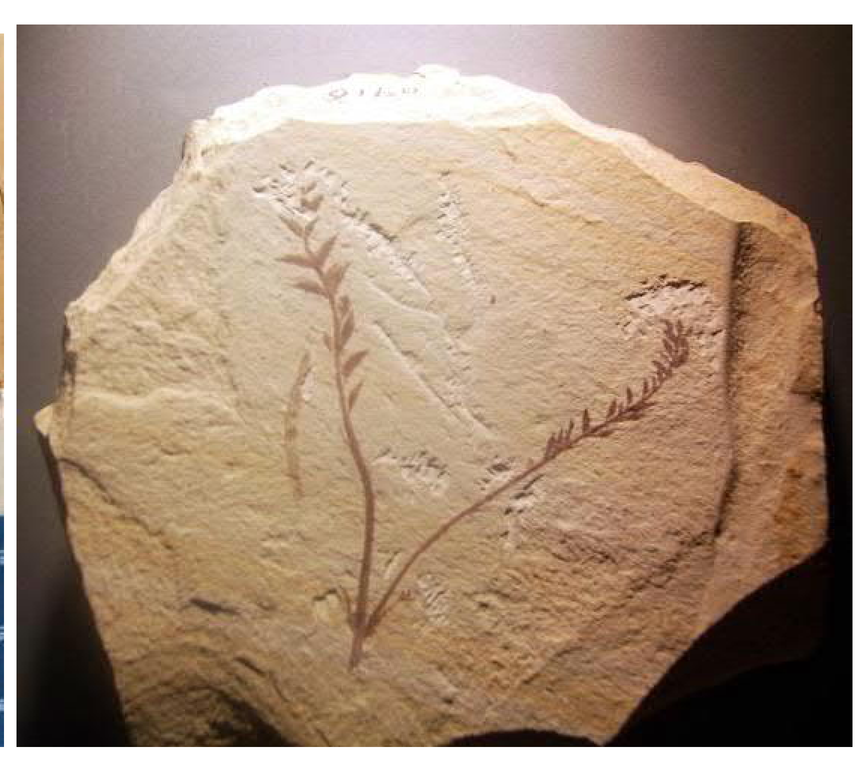
عن طريق زائرين مخلصين [متخصصين] كالنحل والدبابير والخفافيش وثدييات صغيرة الأحجام أخرى، وعلى نشر البذور عن طريق الطيور والثدييات والحشرات الكبيرة الأحجام.

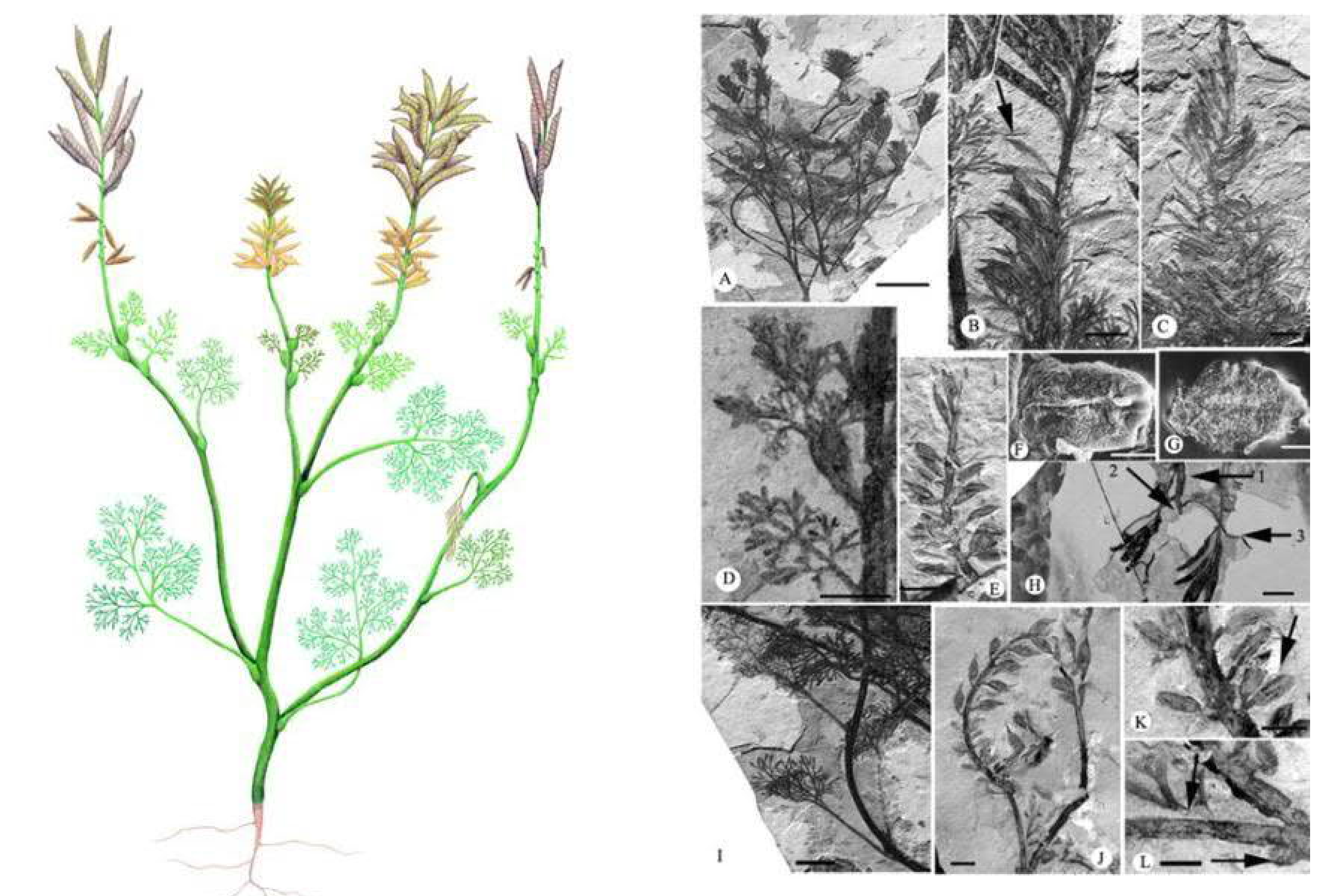
لقد تطوَّر في وعائيّات البذور الحية حيلٌ وأدواتٌ غير عادية للتلقيح وكذلك نشر البذور. تزوّد إحدى الزهور القطبية الشمالية ملقِّحاتها من الحشرات بتجويف من البتلات [التويجات] تشكِّل سياجًا مشمَّسًا ذا شكلٍ قطعيٍّ مكافئٍ. ولبعض زهور الأوركيدات [السحلبيَّات] تُوَيجاتٌ مشكَّلةٌ وُملوَّنةٌ كالحشرات الإناث، فتؤبِّرها الذكور الغير مُمَيِّزة المتفائلة. إنها بالمصادفة تمامًا أننا ندرك ونشعر بروائح وألوان الزهورِ حولَنا، لأن معظمها انتُخِبَتْ لأجْل عيوان وحواسِّ الحشرات. فنحن لدينا على الأرجح الرؤية للألوان لتساعدنا على التمييز بين الفاكهة الناضجة والغير ناضجة). لكننا نستطيع الحصولَ على متعة [أو نشوى] علمية وكذلك جمالية من النظر إلى الزهور عند إعجابِنا بكفاءتها وكذلك جمالِها.

وعائيات البذور وعلم البيئة والكائنات (الإيكولُجِي أو الإحاثة) الخاص بدهر الحياة الوسطى

ظهرت أول وعائيّات البذور حوالَيْ التُخِم الجوارسي– الطباشيري. إن أقدمَ وعائيّ بذورٍ من بين جميعها كان من رواسبِ بحيرةِ Liaoning في شماليّ الصينِ التي اكتُشِفَ فيها أيضًا ديناصوراتٌ مُرَيَّشة وطيور مُبكِّرة. إن Archaefructus [الفاكهة العتيقة] (الصور ١٤– ١٥) محفوظة كمتحجرة على نحو كامل تقريبًا، ويبدو أنها عشبة قاطنة للماء. لا توجد لها تويجات، لكن النبات كان له خباءات [مِدَقَّات، كربلات] متقاربة بداخلها بذور، وهي سمة كلاسيكية تقليدية لوعائيّات البذور. تحليل التصنيف على أساس الفروع التطورية لـ Archaefructus [الفاكهة القديمة] يضعها كأكثر وعائيات البذور بدائيةً وكذلك أقدمها.





Archaefructus sinensis **An aquatic herb!!**
No petals or sepals! Protandrous?





الصور ١٤– ١٥ متحجرات وإعادات بناء للنبات الوعائي البذور المبكر جدًّا Archaefructus [الفاكهة العتيقة] من صخور العصر الطباشيري المبكر في الصين.

استنوعت وعائيّات البذور بحلول العصر الطباشيري المتوسط، وخاصةً في البيئات المبعثَرة المقاطَعة مثل ضفاف الأنهار. لكن كيف يتلاءم ظهور وصعود وعائيّات البذور مع الصورة الكبيرة لإيكولُجِيَّة دهر الحياة المتوسطة؟

عند نهاية العصر الجوارسي، نرى انخفاضًا للديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي sauropods التي كانت على الأرجح مرتعيات على الثمار والأوراق المرتفعة، ونشأة الديناصورات ذوات الورك الشبيه بالطيري ornithischians المرتعيات على الثمار والأوراق المنخفضة. فصارت نبتات بِذرية أكثر تُحْصَد قبل أن تصل إلى النضج، فكان أي نبات سيمكنه التكاثر والنمو بسرعة سيفضَّل [يُنتخَب انتخابًا طبيعيًّا].

تتكاثر الصنوبريّات ببطء. يستغرق الأمرُ سنتين منذ التلقيح حتى انبثاق البذرة من المخروط [أو الكوز]، ولا تأخذ الرياحُ البذرةَ بعيدًا جدًّا في العادة. يعتمد كاملُ نظام تكاثر الصنوبريّات على الرياح ويعمل على أفضل نحوٍ في حالة تجمعها متقاربةً من بعضها البعض مثلما في غابةٍ.

على النقيض من ذلك، معظم وعائيّات البذور متطورة للتلقيح عن طريق الحيوانات _وخاصةً الحشراتِ_ لأجْلِ الإنبات والنمو السريعين؛ ولإطلاق البذور السريع (في غضون سنةٍ). يُرجَّح أكثر بكثير أنْ ينجحَ نباتٌ وعائيُ البذورِ كعشبٍ من أي نباتٍ آخر، مستعمِرًا بسرعةٍ أي مساحة متاحة، ويُرَجَّح أكثرَ أن ينتشر على مدىً واسعٍ بسبب وسيلته للتوزيع. لقد كانت أقدم وعائيات البذور شجيراتٍ عشبية ضعيفة صغيرة الأحجام، وهو النوع الذي كان سيمكنه النجاة من الديناصورات النباتية الثقيلة بالضبط. فحالما كان ديناصور مرتعٍ أو حادثة طبيعية تحطم غابةَ صنوبرياتٍ، كانت على الأرجح جدًّا أن تُعِيد استعمارُها الشُجَيْراتُ والأعشابُ التي أمكنها الغزوُ والنموُّ بسرعة. (انظر كمثال إلى نتائج الإزالة التامّة أو الكبيرة لغابةٍ صنوبرية في العصر الحالي). فكانت الأعشاب نفسها تتكاثر بسرعة، لذلك كانت أكثر مقاومةً وصمودًا للارتعاء مما كانت عليه النبْتات الصنوبرية الصغيرة [الخارجة من بذورها].

حتى بدون ارتعاء الديناصورات النباتية، كانت وعائيّات البذور ستجد مواطن تَكُوْنُ ناجحةً جدًّا فيها. كمثالٍ، تسود في صخور العصر الطباشيري الأوسط أوراق وعائيات البذور على الرواسب المترسِّبة في الشرفات أو الحواجز الفيضية النهرية [السدود الرسوبية، مسناوات، سد نهري: رواسب نهرية متراكمة مشكلة سدودًا طبقية عند حافة سهل الفيض، على أسطح جانبي النهر نتيجة فيضانه] والقنوات والمجاري النهرية. إن تحول وتغير مناطق ضفاف الأنهار يلائم ولصالح الأعشاب لأن الأشجار الكبيرة الأحجام تُوْقِعُها العواصفُ والفيضانات المتكررة. رغم ذلك، فمعظم متحجرات حبوب اللقاح من العصر الطباشيري الأوسط أتت من رواسبَ مترسّبةٍ في البحيرات [الجداول] والبيئات البحرية القريبة من الشاطئ. كانت تلك حُبَيْباتِ اللقاحِ التي كانت تُطَيِّرُها الرياحُ من الغابات المستقرَّةِ على الشواطئ وفي السهول المنخفضة البعيدة عن الفيضانات العنيفة، وهي في معظمها وعلى نحو مهيمِن حبيباتُ لقاحِ صنوبرياتٍ.

رغم ذلك، لم تَسُدْ [تهيمِنْ] وعائياتُ البذورِ على كل عالَم العصر الطباشيري. فقد كانت بطيئة جدًّا بالنسبة لاستعمار مناطق خطوط العرض المرتفعة. أعتقد أن هذا يعكس اعتمادها أكبر الاعتماد على الملقِّحات من الحشرات، والتي تقل عدديًّا وتنوعًا في مناطق خطوط العرض المرتفعة [الباردة المناخ].

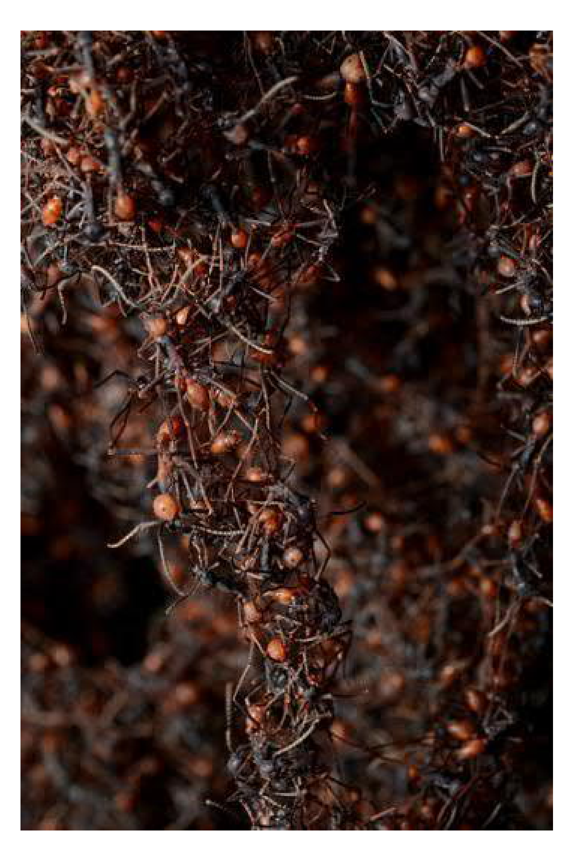
علاوة على ذلك، تُظْهِرُ متحجرات مستعمَرات الحياة النباتية من العصر الطباشيري المتأخر المحفوظة في مكانٍ تحت رمادٍ بركانيٍ يقع في Wyoming [ولاية تقع في المنطقة الجبلية من غربي الولايات المتحدة الأمِركية] أنه رغم هيمنة وعائيات البذور على التنوع الحيوي في مستعمرةِ حياةٍ نباتيةٍ محليَّة، فإنها تمثِّل نسبةً صغيرةً فقط من الكتلة الحيوية النباتية [مجمل الوجود النباتي]. وفي متحجرات مستعمرة الحياة النباتية في سلسلة جبال "شجرة الأَرْزِ الكبيرة" Big Cedar Ridge [في Wyoming]، تمثِّل وعائيات البذور ٦١% من الأنواع، لكنها كانت تغطِّي ١٢% فقط من الأرض. ينبغي أن نكون حريصين على التمييز بين التنوع والوفرة والأهمية الإيكولُجِيّة لوعائيات البذور. لا يمكن القول عنها أنها هيمنت على إيكولُجِيَّة أي منطقة في العصر الطباشيري.

رغم ذلك، يمكن للمرء أن يجادِل _كما فعل Bruce Tiffney (مثلًا، في ١٩٩٨م) وكما فعل آخرون_ بأن تشعب وعائيات البذور وفر الأساسَ لتشعب الديناصورات ذوات الورك الشبيه بورك الطيور ornithischians ذوات وزن الخمسة أطنان الخاصة بالعصر الطباشيري. يبدو أنها عاشت في قُطْعانٍ أكبرَ بكثيرٍ من الخاصة بديناصوراتِ العصر الجوارسي، كانت تصل إلى عدة آلاف في حالة الديناصور Maiasaura [نوع من الديناصورات ذوات المنقار، كانت ترعى أمهاته صغارها بعد أن يفقسوا بزمن، ومعنى الاسم الأم الحنون أو الصالحة]، وقد كانت ديناصورات العصر الطباشيري المتأخر أكثر تنوعًا بكثير وكذلك أكثر وفرةً من أسلافها.

النمل والأَرَضَة البيضاء [المعروفة على نحو خاطئ بالنمل الأبيض]

أفادَ نجاحُ وعائيَّاتِ البذورِ الملقِّحين وناشري البذورِ، والعكس صحيح منطبِقٌ أيضًا، وكان التطور المتأخر لوعائيّات البذور ذا علاقةٍ بإيكولُجِيَّةِ الحيوانات المرتَعِية الكبيرة الأحجام. لكنْ في العصر الحالي، بعض أكثر آكلات النباتات الاستوائية الفعَّالة هي نملٌ قاطعٌ لأوراق الأشجار، ومعظم الفضلات والركامات النباتية البريّة [نثار الأوراق والأغصان الميتة الساقطة على أرض غابةٍ] تفكِّكها حشراتُ الأَرَضة. ثلث الكتلة البيولُجِيَّة الحيوانية [تعداد الحيوانات] في الأمازون Amazonia يمثله نملٌ وحشراتُ أَرَضَةٍ. في ساڤانات [الأراضي السهلية المعشوشبة لـ] غربي أفريقيا هناك قرابة ألفي نملة لكلِّ مترٍ مربَّعٍ! هناك قرابة ٢٠ مليون فردٍ في المستعمَرة الواحدة المُفْرَدة للنمل المتنزِّه driver ants [أو المتجيِّش أو نمل السافاري Safari ants, Dorylus]، لكن سجل الرقم القياسي العالَمي تحوزه مستعمرة ضخمة [supercolony مستعمرة لحشرات اجتماعية، لشدة كبر مساحتِها فإن النمل العاملين من أعشاش متباعدة ضمن نفس المستعمرة لا يتعاملون مباشرةً مع بعضهم البعض] خاصة بنملٍ في شماليِّ اليابان [وهو نمل الخشب الأحمر الياباني

على جزيرة Hokkaido على ساحل Ishikari]، والتي بها ٣٠٠ ميون فرد، بما في ذلك مليون ملكة، في ٤٥ ألف عش متصل أحدهم بالآخر داخليًّا، ممتدة على مساحة 2, 7 كم مربَّع (ميل مربع).



النمل المتجيّش الأفريقي driver ants

لقد بدأت الحشرات الاجتماعية الأسمى [أو الأعلى تطورًا] (النحل والنمل والأَرَضة والدبابير) تشعبًا تطوريًّا كبيرًا في العصر الطباشيري المتأخر، عندما صارت وعائيات البذور مهيمنةً في الأنظمة الإيكولُجية [البيئيّة الاعتياشيّة] البريَّة. إن أقدم نحلة معروفة عُثِر عليها في كهرمان متحجر من العصر الطباشيري من نيو جيرسي في أمِركا هي لنحلة عاملة متكيِّفة لجمع حُبَيْبات اللقاح. فكان لمجتمَع النحل بالفعل في ذلك الزمن بُنْيَةٌ معقَّدةٌ.


أقدم متحجرة لنحلة من العصر الطباشيري المتأخر فيما هو حاليًّا نيو جيرسي الأمِركية

كيمياء وعائيّات البذور

كما قد علمنا، فالكثير من وعائيات البذور تجذبُ الحيواناتِ إليها للتلقيح ولنشر البذور. يدفع النباتُ في العادة ثمنًا في شكل تكلفة إنتاجِ موادٍ مثل الرحيق وفي شكل البذور المأكولة. كثيرًا ما تأكلُ الحيواناتُ المرتَعِيةُ والحشراتُ آكلاتُ النباتِ ونَسْغِ النبات [السائل الجاري في أوعيته] موادًا نباتيةً أكثرَ مما تدفعه بالمقابل في شكل خدماتٍ للنبات، ويؤدِّي جذبُ كائناتٍ كهذه إلى خسارةٍ إجماليَّةٍ صافية للطاقة.

لذلك تَطوَّر في وعائيات البذور تنوعٌ مدهِشٌ من التراكيب والمواد الكيميائية التي تعمل على صد وتنفير الحيوانات النباتية. هذا يمكن بسيطًا وفعَّالًا مثل الأشواك والإبر، ويمكن أن يكون مهيِّجات بالتلامس كما في اللبلاب السامِّ والبلُّوط السامِّ، أو يمكن أن تَكُوْنَ سمومًا داخلية شديدة أو دقيقة. تُنْتَج السيانَيْد [أحد أخطر السموم] عُشبتان في الساڤانا الأفريقية هما العشبة السودانية والسورجم Sudangrass (Sorghum × drummondii) and sorghum من الفصلة النجيليّة Poeceae [وتُزرَعان كذلك للرعي في أماكن غير شرقي أفريقيا، منها جنوبي أوربا وأمركا الجنوبية وأمركا الوسطى وأمركا الشمالية

وجنوبي آسيا] عندما يُرْتَعَى عليها بوحشية وشدة أكثر من اللازم، ويُنتج شجر البامبو المدغشقري السيانيد كصاد للارتعاء عليه، وقد طور ليمور البامبو الذهبي الذي يأكله مقاومة وتحملًا عاليًا لسم السيانيد. وتحتوي بعض النباتات كجذور الكاسافا وهو طعام شبيه بالبطاطس مهم في البلدان الأفريقية والاستوائية عليه في شكل جلوكوزيات سيانيدية مرتبطة بجزيئات السكر، ويوجد السيانيد بكميات جوهرية في بذور بعض النباتات كالتفاح والمشمش والخوخ أي الدراق لمقاومة الحشرات]. إن الكثير من عقاراتنا الرسمية والغير رسمية كانت في الأصل متطوِّرةً ليس لأجل علاج البشر بل كدفاعات للنباتات. أكثر من ألفي نوعٍ من النباتات مُبيدةٌ للحشرات بدرجة أو أخرى *[مثلًا يحتوي الأقحوان على مركب البايريثروم الذي يسبب شلل وموت أغلب للحشرات، لكنه آمن على الإنسان والحيوان، والشث Dodonaea والفشاغ Smilax يسبب وفاة ٤٠% من اليرقات ويقلل وزنها بنسبة النصف، ويُميت نبات Cestrum ملكةِ الليلِ يرقاتِ البعوض خلال مرحلة انسلاخها الرابع من الهيكل الصلب الخارجي للنمو]*. إن الكافيين[1]، والإستركنين أو الستركنين strychnine[2]، والنيكوتين[3]، والكوكايين، والمورفين[4]، والمسكالين أو المزقالين mescaline[5]، والأتروبين[6]، والكينين quinine[7]، والإيِفِدرين ephedrine[8]، والديجيتاليز digitalis أو القفازيِّ أو القُمعيِّ[9]، والكودين codeine[10] والكورار curare[11]، كلها مواد كيميائية قوية مستخْلَصة من النباتات، وإنها ليست مصادفةً أن الكثير منها مواد مبيدة للحشرات مهمة أو تعمل بقوة على الأجهزة [الأعضاء] العصبية أو التكاثرية أو الدورية الدموية الخاصة بالثدييّات. بعضها حتى مانعة للحمل وتعمل مباشرةً بذلك على تقليل ضغط الارتعاء عليها. يُحْصَد يوميًّا ١٥٠ مليون زهرة البيرثروم pyrethrum أي: نبات الغرديب [وتنتمي إلى فصيلة chrysanthemum الأقحوان أو Tanacetum التناستوم أو حشيشة الدود أو حشيشة الشفاء أو حشيشة الملكة وهو جنس نباتي يتبع الفصيلة النجمية أو المركبة]، وتسد الحاجةَ لخمس وعشرين ألف طن من المبيد الحشري "الطبيعي" كلَّ سنةٍ. قديمًا استُعْمِل مليون طن سنويًّا من النيكوتين لمقاومة أو كبح الحشرات، حتى اكتُشِف أن المادة سامَّة للغاية للثدييّات (ولا يزال البشر المدمِّرون لأنفسهم يدخِّنونه!). توجد مواد نباتية أخرى قويّة لكنْ يمكن استعمالُها لإضافة نكهات للأطعمة بجرعات منخفضة. كل النكهات والبهارات في مطابخنا تقع في هذا التصنيف أو التعليل. يُبْعِد الثومُ الحشراتِ (وكذلك مصاصي الدماء والاصدقاء!) [دعابة من مؤلف الكتاب].

---

1 الكافيين مادة منبهة توجد في الشاي والقهوة والكولا، يتمثل التسمم به في أخذ جرعة زائدة من الكافيين و يمكن أن يؤدي بالنسبة للجهاز العصبي المركزي لإفراط في التحفيز يسمى تسمم الكافيين أو "التوتر الكافييني". أعراض التسمم بالكافيين ليست خلافا لتعاطي جرعات زائدة من المنشطات الأخرى. ويمكن أن تشمل الأرق والعصبية والإثارة والانتشاء والتوهج في الوجه وزيادة التبول، واضطراب الجهاز الهضمي وارتعاش العضلات وتدفق الفكر والتعبير، والتهيج وعدم انتظام أو سرعة ضربات القلب، والانفعالات الحركية. وفي حالات تعاطي جرعات زائدة من أكبر من ذلك بكثير يزيد في الهوس والاكتئاب وهفوات الحكم، والارتباك والأوهام والهلوسة، والذهان قد يحدث، وانحلال الربيدات (انهيار أنسجة العضلات والهيكل العظمي). في حالة تناول جرعة زائدة يؤدي إلى الوفاة. الجرعة القاتلة متوسط (LD50) يعطى عن طريق الفم، هو ١٩٢ مليغرام لكل كيلوجرام في الفئران. LD50 عن مادة الكافيين في البشر تعتمد على الوزن والحساسية الفردية وتشير التقديرات إلى أن حوالي ١٥٠ إلى ٢٠٠ ملليغرام لكل كيلوغرام من كتلة الجسم، ما يقارب من ٨٠ حتي ١٠٠ من فناجين القهوة لشخص بالغ في إطار زمني محدود يعتمد على عمر النصف. على الرغم من حدوث جرعة مميتة مع الكافيين فذلك صعب للغاية مع القهوة العادية، وكانت هناك حالة وفاة من جرعة زائدة من حبوب الكافيين، مع جرعة زائدة ذات أعراض خطيرة تتطلب العلاج بالمستشفيات التي تحدث بأقل من ٢ جرام من مادة الكافيين. وهذا استثناء لحالة تعاطي المخدرات أو فلوفوكسامين الليفوفلوكساسين الذي يمنع إنزيمات الكبد المسؤولة عن عملية التمثيل الغذائي للكافيين، مما يزيد من الآثار الوسطى وتركيزات الدم من الكافيين بشكل كبير في أضعاف - ٥. ومن المستحسن للغاية الحد من تناول المشروبات التي تحتوي على الكافيين، وشرب كوب من القهوة سوف يكون له نفس التأثير كشرب خمسة في ظل ظروف طبيعية. وتحدث الوفاة عادة بسبب الرجفان البطيني الناجم عن آثار الكافيين على نظام القلب والأوعية الدموية.

2 الإستركنين مادة شديدة السّمية تُستعمَل جرعاتٌ ضئيلة منها كمنشِّطٍ، الإستركنين يزيد تدفق عصائر المعدة ويمتص سريعا عندما يصل الأمعاء ليعمل علي الجهاز العصبي المركزي فيجعل التنفس عميقا وبسرعة ويبطيء حركة القلب بإثارة العصب الحائر وتصبح حواس الشم والسمع واللمس والرؤية حادة ويرفع ضغط الدم، أكثر مصادره شيوعًا واستعمالًا هو الجوز المقيء Strychnos nux-vomica

3 النيكوتين Nicotine هو مركب عضوي شبه قلوي وسام. يوجد في الطبيعة في جميع أجزاء نبات التبغ، مع تركيز أكبر في الأوراق على شكل سيترات أو مالات. يشكل من ٠,٣ إلى ٥% من النبات بالوزن الجاف، والتركيب الحيوي يوجد في الجذور، ويجمع في الأوراق. يوجد النيكوتين كذلك، إلى جانب التبغ، في الطماطم، البطاطس، الفلفل الأخضر، والباذنجان وغيرها. كما أنه يوجد أيضاً في أوراق نبات الكوكا. تستخدم النباتات وخاصة التبغ النيكوتين كوسيلة للدفاع عن نفسها ضد الحشرات.

4 المورفين عقار مخفف للألم، المصدر الرئيسي للمورفين هو عزل نبات الخشخاش المنوم من قش الخشخاش. تشمل الآثار الجانبية الخطيرة التي قد تنجم من المورفين انخفاض التنفس وانخفاض ضغط الدم. للمورفين احتمال مرتفع أن يؤدي للإدمان عليه وإساءة الاستعمال. إذا ُخفِّضَتْ الجرعة بعد فترة طويلة من الاستخدام قد تظهر عوارض الانسحاب من المواد الأفيونية. وتشمل الآثار الجانبية الشائعة النعاس، والتقيؤ، والإمساك.

5 المسكالين عقار مخدر يسبب الهلوسة يستخرج من mescal أو صبار ولِيَمْز أحد أنواع الصبار وأنواع أخرى من الصبارِّيات، كصبّار القديس بطرس San Pedro cactus من أمِركا الجنوبية، وعمود الصبَّار البيروڤي Peruvian torch cactus.

6 والأتروبين atropine مادة سامة في نباتات عنب الثعلب nightshade وبعض نباتات الفصيلة الباذنجانية، وهو مركب شبه قلوي مستخرج من الباذنجان القاتلة البيلادونا Atropa belladona ونبات اللفاح وغيرها من النباتات من الفصيلة الباذنجانية Solanaceae. وتصنف من مضادات المخدرات يمكن أن تكون قاتلة، اسمها مشتق من كلمة جريكية تعني القدر القاطع لخيط الحياة.

7 الكينين يستخرَج من لحاء شجرة الكينا cinchona الشمالي أمِركية، عقار مُرُّ الطعم، وهو مركب شبه قلوي أبيض بلوري ذو خصائص عديدة منها: خافض للحرارة مخفِّف للحمَّى، يستعمَل كمنشّطٍ، وكعلاج للملاريا، مسكن، مضاد للالتهاب، وذو طعم مر. وهو متصاوغ فراغي (متصاوغ من مجموعة متصاوغات لها نفس الصيغة الجزيئية، مع اختلاف الترتيب الفراغي للذرات للكوينيدين الذي يستخدم لعلاج اضطراب نظم القلب، وهي صفة مميزة له غير موجودة في الكينين). الكينين موجود في الطبيعة في لحاء شجرة الكينا، بالإضافة إلى أنه يُصنَّع في المختبرات. الصفات الطبية لشجرة الكينا اكتشفت من قِبَل قبائل الكيشوا، وهم السكان الأصليون لبيرو وبوليڤيا. ولاحقاً كان اليسوعيون هم أول من قام بإدخال الكينا إلى أوروبا.

8 الإيِفِدرين عقار يستخرَج من جنس نبات الإيِفِدْرا ephedra يُستعمَل لتلطيف الأزمات الربوية التنفسية. وهو مركب له قدرة على زيادة إفراز الأدرينالين في التشابكات العصبية .يستخدم كمنبه وموسع للقصبات الهوائية. ويستخدمه الرياضيون كمنشط لزيادة التحمل في ألعاب البطولة. كما يستخدم مع مسكنات الألم في التخفيف من عوارض الزكام عن طريق تخفيف من احتقان المجرى التنفسي مما يقلل من كمية المخاط ويسهل التنفس.

9 الديجيتاليز عقار يُستخرَج من نبات قفاز الثعلب أو المعروف بالقُمعِيَّة ويستعمل كمحفِّز للقلب. تُستخلص مجموعة الأدوية المعروفة بالغليكوزيدات القلبية، وخاصة الديجوكسين من مختلف أنواع هذا الجنس.

10 الكودين عقار مخفِّف للألم. كودين (بالإنجليزية: Codeine) أو ميثيلمورفين (بالإنجليزية: methylmorphine) هو مستحضر أفيوني يستخدم كمسكن للألم ودواء كحة ومضاد للإسهال. كودين (بالإنجليزية: Codeine) أو ٣-ميثيلمورفين (بالإنجليزية: ٣-methylmorphine) ويتواجد بشكل طبيعي على هيئة المورفين يحتوي مجموعة ميثيل ، هو مستحضر أفيوني يستخدم كمسكن للألم ودواء كحة ومضاد للإسهال. يُباع الكودين عادةً في الولايات المتحدة الأمريكية على شكل ملح (فوسفات الكودين او كبريتات الكودين)؛ هيدروكلورات الكودين هو الشكل الأكثر شيوعًا حول العالم و يمكن ايضاً ايجاده على شكل سترات، هيدرات اليود، هيدرات البروميد، والعديد من الأملاح الاخرى. يعتبر الكودين ثاني أكثر القلويات (بالإنجليزية: alkaloids) نسبةً في الأفيون؛ قد تصل النسبة ل ٣%. بالرغم من انه بالإمكان الحصول على الكودين من المصادر الطبيعية، الاّ ان المصدر الاولي للكودين المستخدم في الصناعات الدوائية هو مركّب شبه صناعي (يصنع من المورفين عن طريق الميثلة من جهة الأورثو O-methylation) . يعتبر الكودين المركب الأساسي للأفيونات الضعيفة و المتوسطة (ترامادول ، ديكستروبروبيكسيفن، دايهيدروكودين، هيدروكودين، اوكسيكودين). يوجد على نحو طبيعي في الخشاش المنوم أو الأفيوني Papaver somniferum, the opium poppy.

11 الكورار مادة سامة تُستخرَج من العديد من النباتات كفصيلة البذر قمرية Menispermaceae والعديد من أنواع فصيلة الإسطركن Strychnos، ونبات التاجا Taja من الفصيلة الفرعية اللوفاوات Aroideae من فصيلة اللوفيّة Araceae، وثلاث أنواع من الفلفل من فصيلة الفلفلية Artanthe genus of family Piperaceae، واستخدمها الأمِركيون الأصليون الهنود الحمر في تسميم رؤوس سهامهم، واستعملوه قديمًا بجرعات ضئيلة كمخدر وكمسكن للألم.

بالنسبة لعلماء المتحجرات والأحياء القديمة، فإن مشكلة وعائيات البذور هي عدم حفظها في سجل المتحجرات. على نحو واضح، فإن النجاح المتزايد لوعائيات البذور في العصرين الطباشيري المتأخر ودهر الحياة الحديثة Cenozoic حدث على الرغم من وفي ظل الارتعاء الشديد من جانب الثدييات والحشرات المتشعِّبة في ذلك الزمن. لقد تطورت الدفاعات الكيميائية الخاصة بوعائيَّات البذور على الأرجح مبكِّرًا جدًّا في تاريخها.

الفصل الخامس عشر

نشأة الثدييات

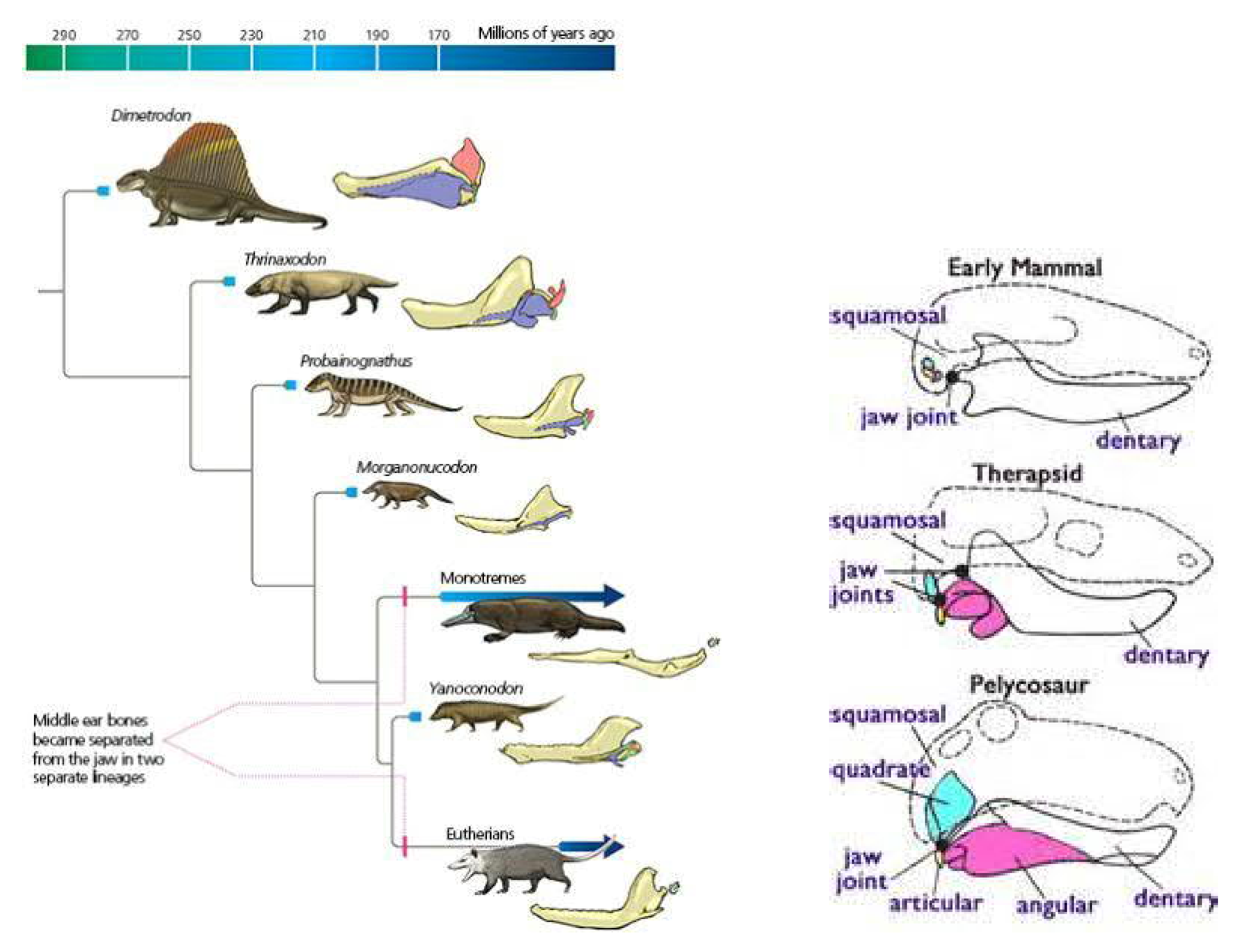
لم يكن لنشأة الثدييّات أي أهمية ذات سمة خصوصية في إيكولُجيَّة دهر الحياة الوسطى Mesozoic. لقد كانت الثدييات أعضاءً في المستعمَراتِ البريّة الخاصة بدهر الحياة الوسطى صغيرةَ الأحجامِ ونادرة. إلا أنها تطورت إلينا وإلى تشعب الثدييّات الكبيرة التي تهيمن على مستعمَرات الحياة الحيوانية الفقارية الكبيرةِ والصغيرة الأحجام [أدوارها الاعتياشية] الخاصة بالعالَم الحديث في العصر الحالي.

الزواحف والثدييّات الحية المعاصرة مختلفة جدًّا، بدون أشكال متوسِّطةٍ باقية على قيد الحياة، وهذا يتطلَّب منا أن نقوم ببعض التعديلات الفكرية الذهنية أثناء محاولتنا أن نفهم كيف تطور نظراؤها السلفيّة _الزواحف ذوات الثقبين الصدغين وذوات الفتحة الصدغية الواحدة_ بطرقٍ متباعدة في العصر الترياسي.

تُرْضِعُ الثديياتُ الحيَّةُ أطفالَها، وهي حارة الدماء؛ ذاتيَّة تنظيم درجة الحرارة وثابتة درجة الحرارة. إنها ذوات شعر، وليس قشور. إن لديها عظمة واحدة فقط على طول فكها السفلي، بدلًا من الأربع عظام الزاحفية، ويتمفصل الفك بين هذا الفك السفلي والعظمة الحرشفية Squamosal bone [المكون الرئيسي لمنطقة الفك في الجمجمة، العظم القشري: خاص بالجزء المشابه للصفيحة في العظم الصدغي]، حالًّا محلَّ مفصل الزواحف ذوات الفتحة الصدغية الواحدة synapsids (وذوات الفتحتين الصدغيتين diapsids) المبكرة، والذي كان بين العظمتين المفصلية [جزء من الفك السفلي لمعظم الفقاريات، بما فيها الأسماك ذوات الفك والبرمائيات والطيور وأنواع عديدة من الزواحف وكذلك الثدييات البدائية المصنفة كذلك من جهة المنبت التطوري. وهي متصلة بين عظمتين أخريين خاصين بالفك السفلي، وهما الزاوية وفوق الزاوية. وهي تشكِّل مفصل الفك بالتمفصل مع العظمة المربَّعية الخاصة بالجمجمة] والمربَّعية [عظمة أو تركيب غضروفي في الجمجمة يربط الفك السفلي والعلوي في الأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور] articular and quadrate (الصورة ١٥- ١).

لا تُستَبْدَلُ أسنانُ الثدييَّات باستمرار أثناء حيواتها. في العادة والطبيعي، تُستبدَل الأسنانُ اللبنيّة مرةً واحدة، وأما الأسنان الأخرى كالضروس [الأسنان الطاحنة] وضروس العقل فتُكَوَّنُ مرةً واحدةً. تتلاقى أسنان الثدييات بدقة وتعمل بفاعلية جدًّا، بتكلفةٍ تتمثل في المشاكل الشديدة لو تلفت أو فُقِدَت أو بَلَت [هلكت بفعل الاستعمال] الأسنان، [في حين يظل تبديل الأسنان مستمرًّا طوال العمر في الزواحف على حساب عدم تلاؤم الأسنان مع بعضها بدقة وأنها للتقطيع فقط وليست للمضغ في العموم، لذلك تتعاون مجموعة من التماسيح وتتشارك في تمزيق كل فريسة، فيما يُعرَف برقصة الموت].
لقد تطورت الثلاثة عظام "المفقودة" الناقصة من الفك السفلي إلى الأذن الوسطى الخاصة بالثدييات، معطيةً للثدييات سمعًا حادًّا للترددات العالية، مثل صرير وطنين الحشرات. بالإضافة إلى ذلك، فإن مخ الثدييات مكبَّر [مضخَّم] ومتخصِّص. للدماغ المُقَدَّمِ forebrain فصوص ضخمة تلتف حول أجزاء المخ الأقدم [تطوريًّا] وتحتوي على تركيبٍ جديد تمامًا، وهو القشرة الحديثة neocortex، التي توجد في الثدييَّات فقط. توفِّر أجزاءُ المخِّ المُزدادة على نحوٍ كبيرٍ في الحجم بحساسة مُحَسَّنة مُطوَّرة للسمع والشم واللمس، وهي مقسَّمة على فصَّيْنِ أيسر وأيمن، واللذَيْنِ يتحدث عنها أطباء النفس وأطباء المخ والأعصاب كثيرًا.

يستحيل تصوُّرُ أن كل هذه الاختلافات نشأت بين ليلةٍ وضحاها [فجأةً]، لكننا نستطيع رؤية بعضها يتطور تدريجيًّا في الثيرابسيديَّات [therapsids الزواحف الشبيهة بالثدييات] التي كان بعضها أسلافًا للثدييات [وأقاربًا تطوريين لأسلافها]. إن سجل المتحجرات الخاص بالنقلة التطوري أغنى بالفكوك والأسنان. إن عظمة الفك السفلي dentary في فك الثيرابسيديَّات _والذي كان في الأصل قسمًا صغيرًا في المقدَّمة_ صار مهيمنًا على عظمة الفك حتى صارت الثلاث عظام المؤخَّرة [الخلفية] على كل جانبٍ مجرد أجزاء صغيرة قربَ المفصل. صارت الأسنان أكثر تباينًا بكثير فيما بينها، وخصوصًا الأسنان التي خلف الأنياب، حيث صارت أكبر وأكثر تعقيدًا في شكلها وبُنْيَتِها. هذا قد يقترح [أو يوحي بأن] استبدال الأسنان أثناء الحياة صار أبطأ، لكنْ يَصْعُبُ تقرير ذلك من سجل المتحجرات. تطوَّرَ في الثيرابسيديَّات اللاحقة زمنيًّا الحنك الثانوي، وهو التقسيم بين الفم والممرات الأنفية الذي يُمَكِّنُ الثديياتِ _بما فيها البشر_ من التنفس والمضغ في نفس الوقت.



تطور عظام الفك من البليكورسورات إلى الثيرابسيديَّات therapsids [الزواحف الشبيهة بالثديّات] ومنها ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts وإلى الثدييَّات المبكرة

أما من جهة أجزاء الجسد الطريّة وتنظيم درجة حرارة الأجساد، فليس لدينا أدلة مباشرة ويجب أن نقوم باستدلالات غير مباشرة. لقد وجدنا بالفعل أدلة على مناخات موسمية في قارة جُنْدوانا الجنوبية Gondwana العتيقة، مما يقترح أن تحكمًا في درجة حرارة الجسد من نوع ما قد تطور على الأرجح ضمن الثيرابسيديَّات therapsids [الزواحف الشبيهة بالثدييات] قبل زمن طويل من أن تصير سماتهم العظمية ثديية الصفات.

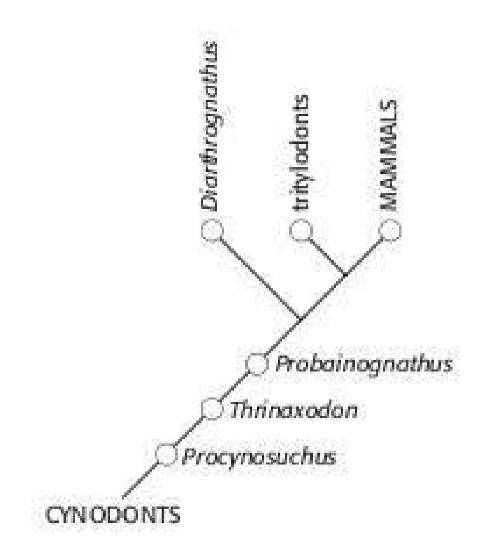
كانت الثيرابسيديَّات therapsids وفيرة الأعداد ومتنوّعة عند بداية العصر الترياسي (الفصل ١٠). لكن الثيرابسيديَّات الأكبرَ حجمًا اندثرت تدريجيًّا، وبحلول نهاية العصر الترياسي كان الناجون صغارَ الأحجامِ حقًّا. تحتاجُ الثيرابسيديَّاتُ ذواتُ الأسنانِ الشبيهة بأسنان الكلاب cynodonts (الفصل ١٠) اهتمامًا خاصًّا لأن [أحد فروعها] تطورت إلى الثدييّات. لقد كانت آخر مجموعة كبيرة للثيرابسيديَّات ظهورًا في السجل الجيولُجِي، في العصر البرمي المتأخر، وهي معروفة على أفضلِ نحوٍ من قارَّة جُنْدوانا. لقد تطوَّرَ في ست مجموعاتٍ على الأقل من الزواحف الثيرابسيدية ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلاب cynodonts اللاحِمة [المفترِسة] والنباتية بعض السمات الثدييّة خلال العصرِ الترياسيّ. سأُقدِّم بيانًا عامًّا فقط عن تطور السمات الثدييّة في الثيرابسيديَّات ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts، وسأبرهن أن التغيرات كانت تغيرات تدريجيَّة والتي أنتجَّتْ ذواتِ أسنانٍ شبيةٍ بالكلبيةِ أكثرَ كفاءةً.

السمات الثديية المتطورة [أو المُشتَّقَة]

هناك مفارَقة [تناقض] بخصوص النقلة التطورية من الثيرابسيديَّات إلى الثدييَّات. إنها معروفة وكاملة على نحو جيد للغاية. يتفق جميع العلماء على أن الثيرابسيديَّات therapsids فرعٌ تطوري، وأن ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبيّة cynodonts فرعٌ تطوري ضمن الثيرابسيديَّات، وأن الثدييَّات فرع تطوري ضمن ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية (المخطط التطوري ١٥– ٢). لكن هناك خلافًا بصدد أيّ نوعٍ ثيرابسيديٍّ كان في الحقيقة أول الثدييات (وأيّ الحيوانات يتضمنُها فرعُ الثديياتِ التطوريُّ).

إن الموقف النظري المتَّخَذ من أغلبية العلماء العاملين على دراسة هذه النقلة التطوية هو استعمال تعريف مملكة الثدييات Mammalia على أساس مفهوم المجموعة الإكليلية [الغصن المتفرع الناتج]. بالتالي يكون أول عضو في مملكة الثدييات هو السلف المشترك لكل الثدييات الحية المعاصرة. هذا التعريف يستبعد من "الثدييات" الكثيرَ من الكائنات الخاصة بالعصرين الترياسي والجوارسي التي امتلكت الكثير من السمات "الثدييّة" مثل عظمة الفك السفلي الواحدة، ومفصل الفك بين عظمة الفك السفلي dentary والعظمة الحرشفيّة، وعظام الأذن الوسطى المنفصلة المستقلة، والمخ المتوسِّع المكبَّر، وغيرها. أظن أن تلك "الغير ثدييات" كان لها كذلك فروٌ، وبدت وتصرفت مثل الثدييات. كان المرء سيحتاج أن يضغط على نفسه [ويبصر على أسنانه] ليدعو هذه

الكائنات بذوات الأشكال الشبيهة بالثديية Mammaliaforma للتوافق مع تعريف المجموعة الإكليلية للثدييات Mammalia. بدلًا من ذلك، سأستعمل في هذا الفصل تعريفَ الثدييات Mammalia القائم على أساس مفهوم المنبت التطوري [نقطة التفرع التطورية]: إنها كانت أول زواحف وحيدة الثقب الصدغي تطور فيها سماتُ الفكِّ الموصوفةُ أعلاه آنِفًا وفي الصورة ١٥– ١، ومعها كل متحدِّراتها التطورية.



مخطط تطوري ١٥– ٢ الزواحف الثيرابسيدية ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية المشار إليها في النص كان أحد فروعها أصلًا تطوريًّا للثدييَّات.

Cynodonts: الزواحف الثيرابسيدية ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب، فرع تطوري من الثيرابسيديَّات [الزواحف الشبيهة بالثدييات] ظهر لأول مرة في العصر البرمي المتأخر منذ حوالي ٢٦٠ مليون عام ماضٍ. تتضمن هذه المجموعة الثدييات الحديثة المعاصرة وكذلك أسلافها المنقرضة وأقاربها الوثيقة. انتشرت cynodonts [ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلب] الغير الثديية عبر جنوبي جُنْدوانا، وتوجد عينات متحجراتها في صخر أمِركا الجنوبية وأفريقيا والهند والقطب الجنوبي. ووجدت متحجرات لها في القارات الشمالية: شرقي أمركا الشمالية وكذلك في بلجيكا وشمالي غرب فرانس. وقد كانت إحدى أكثر مجموعات الثيرابسيديَّات تنوعًا. راجع ص ٢٣٣ لتفاصيل أكثر عنها.

Procynosuchus: يعني اسمه زاحف ما قبل زمن الكلاب أو الثدييات. من الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلاب، عاش في العصر البرمي المتأخر. ويعتبَر أحد أبكرها وأكثرها بدائية وأَوَلِيَّةً. وقد عُثِرَ على متحجراته في جرمانيا وزامبيا وجمهورية جنوب أفريقيا. كان طول جسده حوالي ٦٠ سم. كان له العديد من السمات البدائية. لكن له سمات تميزه عن باقي الثيرابسيديّات البدائية وتدل على أنه كان يعتاش في الماء في حياة نصف مائية، كالذيل الطويل على نحو غير معتاد بالنسبة لذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية واستطالة الأقواس العظمية الخاصة بقنوات أوعية التغذية الدموية التي تجري من خلاله Haemal arches لإعطاء الذيل مساحة جانبية كبيرة لتحقيق قوة دفع أكبر عبر الماء، وربما كانت قدماه العريضتان نسبيًّا تكيفًا أيضًا للسباحة، وتدل البروزات على عظم الفخذ عنده على وجود عضلات قوية للسباحة.

Thrinaxodon: يعني اسمه بالجريكية [اليونانية]: ذو الأسنان ثلاثية الشعب. جنس منقرض من فصيلة ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية. عاش فيما هو الآن جمهورية جنوب أفريقيا والقطب الجنوبي. يؤرخ تاريخ وجوده فيما بين التخم البرمي-الترياسي والعصر الترياسي الوسيط. وقد نجا من الانقراض الذي مر به عصره ربما بسبب عادة بناء الجحور والحفر لديه. على غرار الزواحف ذوات الفتحة الصدغية الواحدة synapsids الأخرى كان له وضعية شبه متفرشحة وهي مرحلة انتقالية بين الوضعية المتفرشحة الخاصة بالبليكوسورات (كوضعية التماسيح) والوضعية الأكثر انتصابًا الماثلة في الثدييات المعاصرة. كانت اللقمة الفخذية القاصية تتمفصل فيه مع عظم الحُقِّ بطريقة تسمح للطرف الخلفي بأن يكون بزاوية ٤٥ درجة بالنسبة للجسم. وهي بهذا مختلفة جدًّا عن اللقمة القاصية الفخذية الخاصة بالبليكوسورات التي كانت فيها تسمح لعظم الفخذ بأن يكون متوزايًّا على الأرض مما أجبر الليكسورات على الوضعية المتفرشحة وقد كانت تحتاج الوضعية المنتصبة في جحورها وأثناء حفرها. وهو أول ذي أسنان كلبية يكتَشَف فيه عادة حفر الجحور، في حين كان Diictodon أول ذي اسنان شبيهة بالعرسة يكتشَف فيه تلك العادة. إن متحجرات Thrinaxodon شائعة وافرة في سجل المتحجرات جزئيًّا [في عصره] لأنه كان أحد اللواحم القليلة في عصره، وكان أكبر حجمًا من ذوات أسنان شبيهة بالكلبية لاحمة مفترِسة مشابهة في عصره. كان حجمه صغيرًا بحجم الثعلب تقريبًا ويحتمَل أنه كان مغطىً بالشعر. توحي الأسنان بأنه كان لاحمًا مفترِسًا يرتكز نظامه الغذائي في معظمه على الحشرات وآكلات النباتات الصغيرة الأحجام واللافقاريات. كان حنكه الثانوي الفريد يفصل بنجاح بين الممرات الأنفية وباقي الفم، سامحًا له بالمضغ بدون مقاطعة التنفس، وهو تكيف هام للمضغ والهضم. كان له فوق منخاريه عدد من الثقوب الضئيلة، وعلى الفك العلوي أيضًا الكثير من الثقوب الضئيلة، مما يعطي الانطباع بأنه كان له شوارب.كانت عظام جمجمته أقل عدد ًا واختزالًا من أسلافه البليكوسورات، فهي متحجرة انتقالية هامة تبثت اختزال عظام جمجمة الزواحف ذوات الفتحة الصدغية الواحدة عبر الزمن باتجاه نشوء الثدييات. وأكبر اختزال لها حدث هو فيما بين Thrinaxodon وProbainognathus.

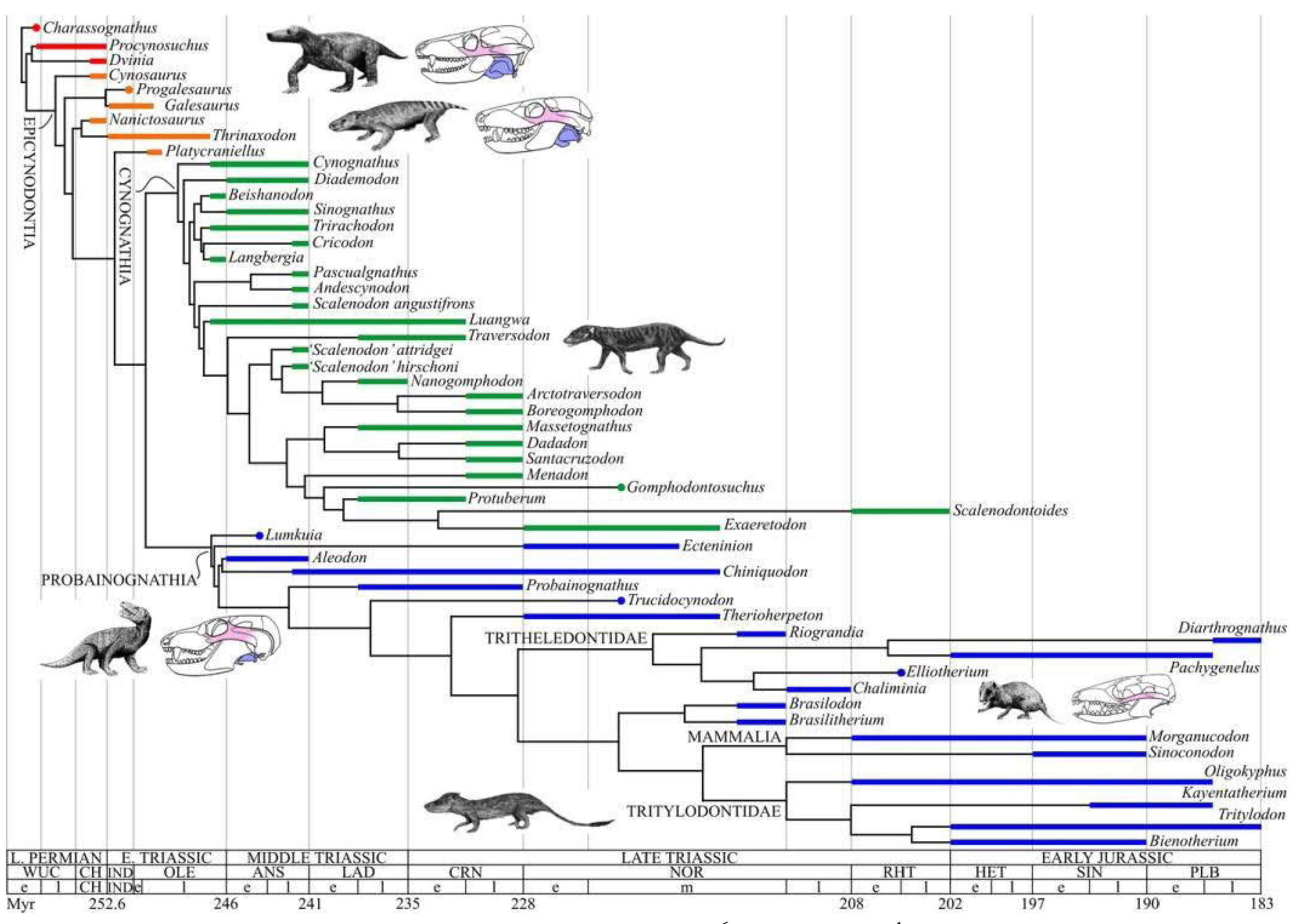
Probainognathus: ذو الأسنان الآخذة في التقدم أو السائرة في مسار التطور. جنس منقض من الثيرابسيديات ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية، عاش منذ حوالي ٢٣٥ إلى ٢٢١ ونصف مليون سنة، خلال العصر الترياسي المتأخر فيما هو الآن أمِركا الجنوبية. وهو من فصيلة Probainognathidae وقريب تطوريّا من فصيلة Chiniquodontidae الشقيقة تطوريًّا لها. كان لاحمًا مفترسًا صغير الحجم له سمات تقدم لنا صلة وحلقة انتقالية بين ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية والثديات. إحدى تلك السمات الرئيسية كانت أن تمفصل مفصل الفك لم يكن يحتوي فقط على العظمتين المفصلية والمربعية، بل وأيضًا الحرشفية والمضرسية. هذا التطور في مفصل الفك هو خطوة هامة في تطور الثدييات حيث أن تمفصل العظمتين الحرشفية والمضرسية هو المفصل الفكي الذي لدى كل الثدييات الحية المعاصرة. تدل هذه الاكتشافات على أنه ينبغي وضعه على الخط المتطور باتجاه الثدييات [كسلف من أسلافها أو كائن قريب من أسلافها، يمثل مرحلة انتقالية تطورية]. فكه ذو أهمية في الشجرة التطورية بوجهٍ خاص. فتشريحيًّا، يشكِّل عظمُ المضرس معظمَ الفك السفلي، وهو يتقوس ويمتد إلى الأسفل باتجاه الخلف إلى منطقة تمفصل العظمة المفصلية articular والفك. بالانسجام مع ذلك صارت العظمة الحرشفية متموضعة قرب العظمة المربعية. كان الطرف الخلفي لذلك العظم المضرسي [الخاص بالفك السفلي] المكبَّر يتلاءم مع فراغ صغير في العظمة الحرشفية الخاصة بالفك العلوي، وهي ترينا بداية تطور مفصل الفك المتمفصل بين العظمتين الحرشفية والمضرسية. لقد كان تمفصل الفك بين العظمتين الحرشفية والمضرسية هو نفس المفصل الذي يظهر في الثدييات، ويدل تصنيف هذا المفصل الخاص بـProbainognathus على أنه كان تمهيد ًا وسابقًا على الثدييات. بالإضافة إلى هذه السمات العظمية المؤكدة، فقد اقتُرِح أن فك Probainognathus كان لديه أنسجة طرية شبيهة بالثديية متقدمة إلى الأمام أيضًا مثلها. لقد ظُنَّ أن عضلات فك Probainognathus كانت متموضعة إلى الأمام أكثر، وأن العضلة الماضغة كانت منقسمة إلى عضلتين منفصلتين مستقلتين: العضلة الماضغة الظاهرية الخارجية والعضلة الماضغة العميقة. رغم هذا التطور والتقدم الجديد، فقدْ وجِدَ مفصل الفك الذي بين العظمتين المربعية والمفصلية في Probainognathus، وكان ازدواج مفاصل الفك هو النتيجة. بسبب ذلك، يظل فك Probainognathus متميزًا عن الخاص بالثدييات بسبب وجود العظمتين المفصلية والمربعية. حالما صار التمفصل بين المضرس والعظمة الحرشفية أكثر رسوخًا _في الأنواع اللاحقة زمنيًّا_ أمْكَنَ للعظمتين اللتين كانتا متضَّمَنتين سابقًا في مفصل الفك _وهما المفصلية والمربعية_ أن تندمجا في الأذن الداخلية وتصيرا المطرقة والسندان على الترتيب.هذا لم يكن قد حدث بعد ُ في حالة Probainognathus، لكن نقصان حجم العظم المربعي وفقدانه للارتباط مع العظمة الحرشفية وتقاربه مع العظم الركابي الخاص بالأذن يدل على أن تحول العظمة المربعية إلى الناتئ العظمي الخاص بالسندان كان يجري في مجراه التطوري. تدعم وتؤكد هذه المجموعة من الأدلة وضع Probainognathus في الشجرة التطورية [النسب التطوري] في الخط المؤدي إلى الثدييات [باعتباره سلفًا أو مثالًا لحلقة انتقالية قريبة من ذلك السلف تطوريًّا]، ويوفر ربطًا تطورًّيا قويًّا بين الزواحف والثدييات. أما عن الوصف التشريحي للجمجمة فقد امتد خطم Probainognathus إلى ما وراء ناتئ الفك العلوي premaxillary processes، وكان خطمًا نحيلًا جدًّا. وقد أدت الهشاشة الواضحة لهذه البنية إلى كون الكثير من عينات المتحجرات محطمة وإلى زيادة صعوبة دراستها. رغم ذلك، فقد تُعُرِّفَ على العديد من السمات. كان القوسان تحت الحجاجي والوجني suborbital and zygomatic archs ذوَيْ شكل حادٍ ٍّ نسبيًّا كليهما، وهناك امتداد للعظم الحرشفي squamosal باتجاه الخلف على القوس الوجني. وكان لـ Probainognathus حنكٌ ثانوي طويل حيث امتدَّ على طول المسافة إلى الطرف الخلفي لصف الأسنان. بالإضافة إلى ذلك، تشكل معظم الحنك الثانوي من خلال العظم الحنكي، وكان الحنك ضيقًا إلى حد ٍّ ما، وكان ضيق الحنك يسمح بتوفير مساحة ليتلاءم مع الضروس [الطواحن] السفلى الخلفية. علاوة على ذلك، كان عظم الميكعة vomer متموضعًا وراء الحنك الثانوي، وتوجد حواف بارزة أو فلنجات جناحية كبيرة فيه أيضًا. كان طول الجمجمة حوالي ٧ سم وكانت تفتقد الثقبة الجدارية parietal foramen. كان للجمجمة أيضًا لقمتان قذاليتان occipital condyle وهي سمة ثديية نمطية. كانت الجمجمة عريضة بالنسبة لطولها، وكان الوجه قصيرًا وضيقًا، لكن المنطقة الوجنية كانت كبيرة نسبيًّا، ربما كما يبدو لربط عضلات الفك. كانت المنطقة الجدارية لقحف جمجمة Probainognathus أعرض بالمقارنة مع أقاربه التطوريين اللصيقين مثل Probelesodon. أما عن نظامه الغذائي،ُفيعتقَد أنه كان لاحِمًا [مفترِسًا]، وهو ما يمكن استنتاجه استقرائيًّا من أسنانه. تتضمن أسنانه أنيابًا خفيفة الحدة متطورة جزئيًّا، وأسنانًا خلف نابية، وأربع قواطع علوية متموضعة عموديًّا، وثلاث قواطع سفليى مائلة إلى الأمام قليلًا. وكانت الأسنان الخدية رفيعة من الجوانب، لكنها مستطالة باتجاه أمامي-خلفي، مع الكثير من الأسنان النابية على طول صف الأسنان. هذا النمط يتطابق مع الذي يُرَى في متحجرات ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts آكلة اللحم الأخرى، مما يدل على أن Probainognathus كان لاحمًا هو أيضًا. هذا النمط للأسنان مشابه أيضًا للنمط الخاص بفصيلة chiniquodontids من ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية، وهذا أحد أسباب القول بصلة مقترحة بينها وبين Probainognathus. تدل العينات المعثور عليها له ولرباعيات الأقدام "البرمائية" الأخرى في تكوين Chañares Formation في إقليم in La Rioja Province في الأرجنتين أن انقراض برمائيات المنطقة نتيجة كارثة

طبيعية ما تزامن أو أدى إلى انقراض في المنطقة أيضًا. وتتواجد المتحجرات لمختلف الكائنات المفترسة وآكلة الحشرات والنباتية بصورة كثيفة وبجوار بعضها في طبقة فترة الانقراض مما يدل على وجود كارثة حصرتهم معًا على نحو غير معتاد في حيواتهم الطبيعية.

Diarthrognathus: ذو الفك ذي المفصلين، عاش خلال العصر الترياسي المتأخر حتى الجوارسي المبكر، منذ حوالي ٢٠٠ مليون عام، من رتبة الزواحف الوحيدة الثقب الصدغي رتبة فرعية الثيرابسيدية فصيلة ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية. كان لاحمًا مفترسًا صغير الحجم أصغر حجمًا بقليل جدًا من Thrinaxodon. كان له بنية فكية مشابهة لكل من الثدييات وللزواحف ذوات الفتحة الصدغية الواحدة synapsids الأكثر بدائية. كان له مفصل فك بدائي متموضع بين العظمتين المربعية والمفصلية، وكان له مفصل فك آخر ثديوي الصفة متطور مشتق متموضع بين العظمتين الحرشفية والمضرسية، ومن هنا اكتسب اسمه اللاتيني. في الثدييات المتطورة تطوت العظمتان المفصلية والمربعية ليصيرا عظمتين من عظام الأذن الوسطى. النقلة التطورية التي يمثلها ذو المفصلين الفكيين تدل على أن الانتخاب الطبيعيَّ أيدَ وانتخبَ الحيواناتِ ذواتِ العضة الأقوى. يربط المفصلان الخاصان به بإحكام تطوريًّا بين الزواحف ذوات الفتحة الصدغية الواحدة المبكرة والثدييات، وبالتاليُ يفنِّد ادعاءات الخلقيين مثل Duane Gish الذي اعتقد أن تلك النقلة مستحيلة. ويمكن رؤية مثل ذلك الفك ذي المفصلين كذلك في ذوات أسنان شبيهة بالخاصة بالكلاب cynodonts لاحقة زمنيًّا، وكذلك في كائنات ذوات صفات ثديية mammaliforms مبكرة.

Tritylodonts: تضمنت رتبةُ ذوات الأسنان شبه الكلبية cynodonts الفصيلةَ الشبيهة بالقوارض tritylodonts [ذوات الأسنان ذوات الثلاث أطراف مستدقةأو منحنـَيات، كان لها قادمتان أماميتان مستطالتان شبيهتان بالخاصتين بالقوارض وبدون أنياب، كان لديها فراغ يفصل القادمتين عن الأسنان الطاحنة ذوات الشكل المربع، كان للأسنان الطاحنة في الفك العلوي ثلاثة صفوف من الضواحك على كل طول الفك، مع أخاديد بينها. وكان للفك السفلي صفين من الضواحك تتلاءم مع الأخاديد التي في الفك العلوي. فكان فكاه يغلقان بالأسنان على نحو متطابق أكثر دقة مما كان في ذوات الأسنان الشبه كلبية الأبكر. فكان يطحن الطعام بين أسنانه إلى حد ما مثل القوارض الحديثة](بما كانت ذوات قرابة تطورية أو متحدرات ٍ من الفصيلة Traversodonts).

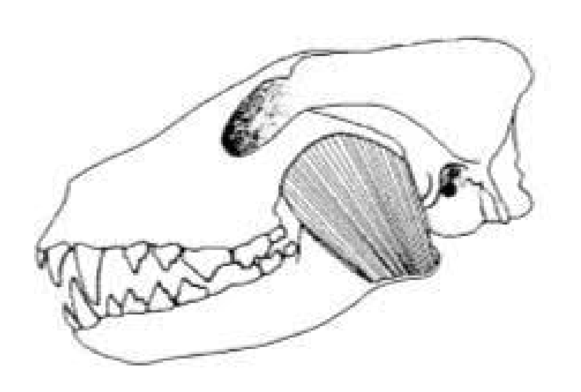
Mammals: الثدييات



شجرة تطورية أكثر تعقيدًا وتفصيلًا لتطور الثدييات وذوات الصفات الشبيهة بالثديية

الفكوك

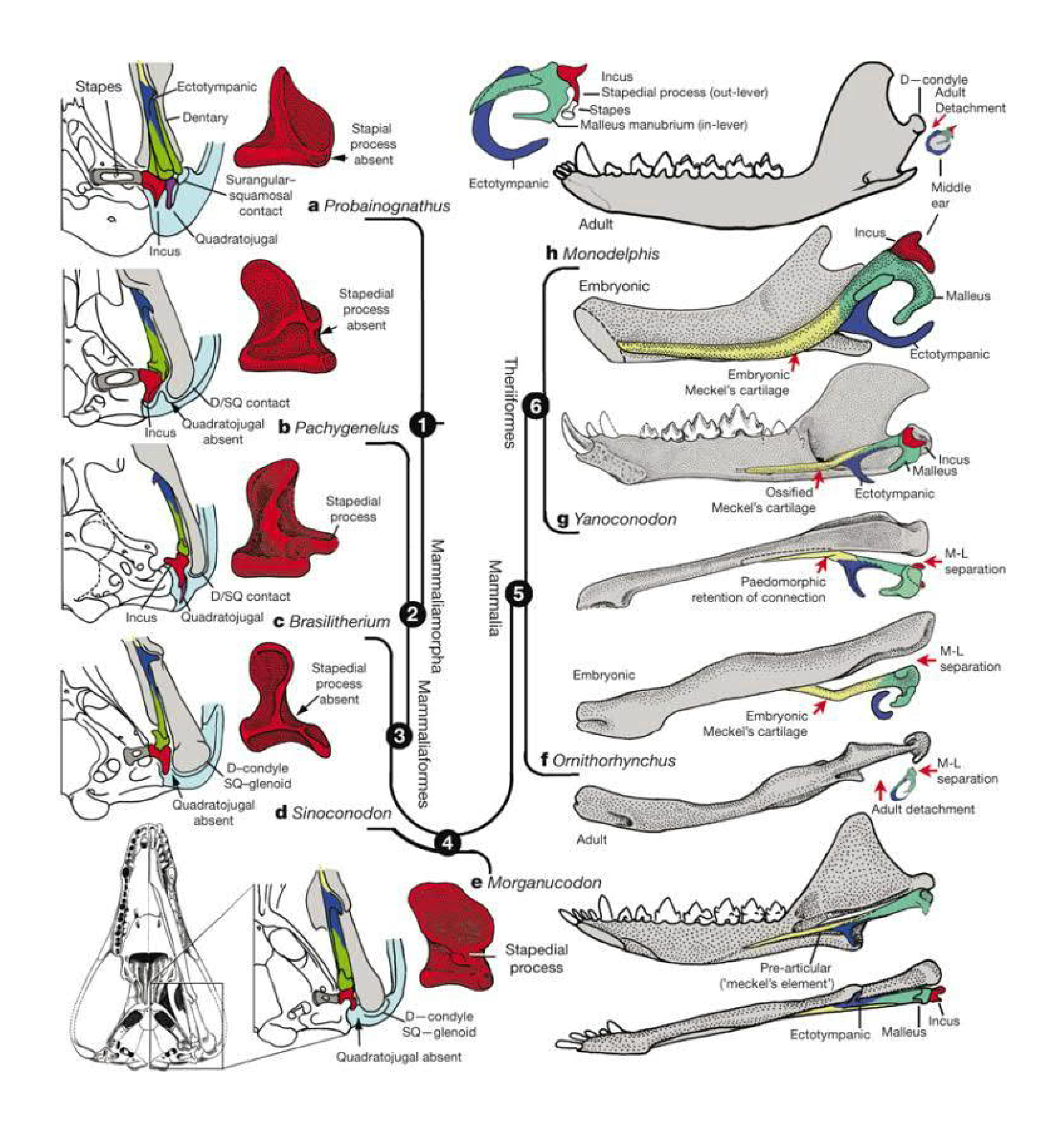
لقد تطور الحنك الثانوي _الذي يُمَكِّنَ من المضغ والتنفس في نفس الوقت_ في فصائل أخرى من رتبة الثيرابسيديَّات therapsids بالإضافة إلى الثيرابسيديَّات ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts. رغم ذلك، فقد تطور في ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية ابتكارٌ رئيسيٌ هامٌ يَتَضَمَّن إعادة ترتيب الفك؛ وهو العضلة الماضغة [أو عضلة الفك السفلي الرافعة] masseter، وهي عضلة كبيرة تمتدُّ من عند الجمجمة أسفل عظم الخد [تحت العين] إلى الجانب الخارجي من الفك السفلي (الصورة ١٥– ٣). في الثدييات الحية المعاصرة هي أقوى عضلة تُغْلِقُ الفكَّ. (ضع أصابعَك على جانب فكك، اضغط على أسنانك ثم أَرْخِها، وستشعر بالعضلة الماضغة تعمل). كان لتطور العضلة الماضغة الرافعة للفك السفلي نتائج عديدة هامّة.

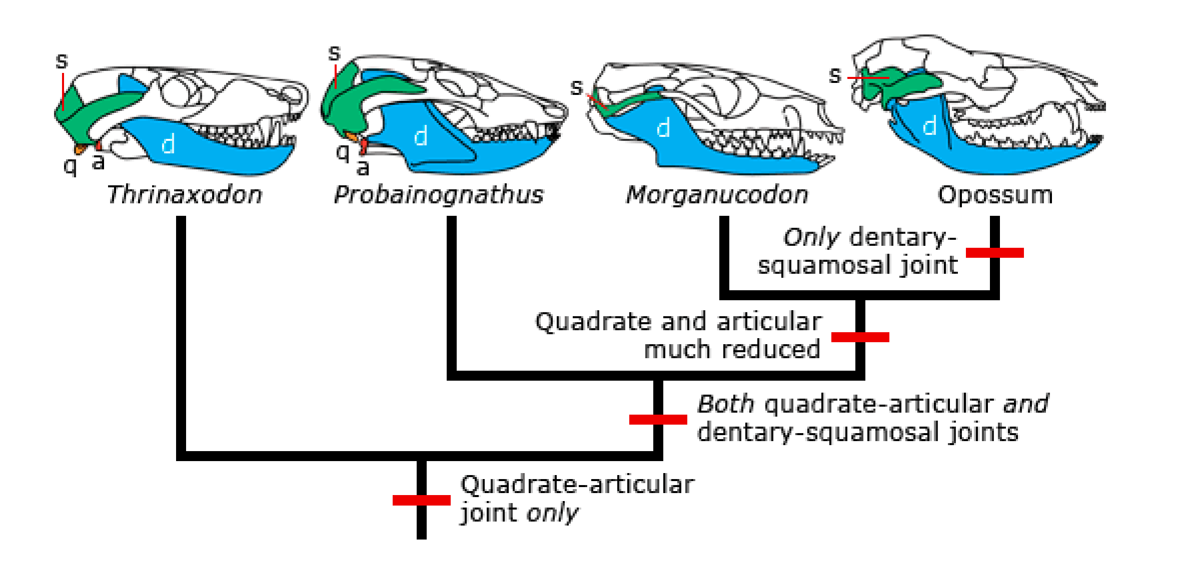


الصورة ١٥– ٣ تتموضع العضلة الماضغة في جانب (أو زاوية) الفك في الثدييات.

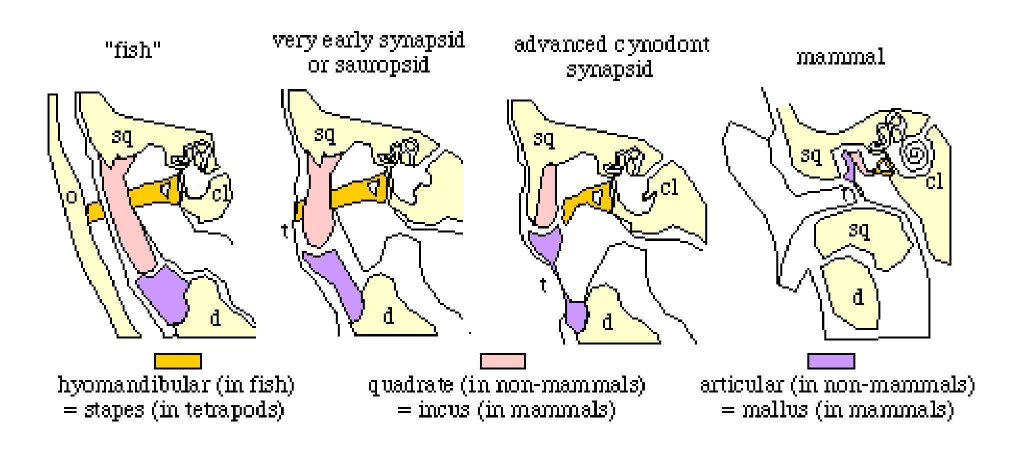
أولًا: صار التحكم في حركة الفك أسهل وصارت أكثر تعقيدًا. صارت هناك حركة جانبية وخلفية– أمامية أكثر دقةً للفك السفلي في المضغ. ثانيًا: صار القضم والعض أكثرَ قوةً. ثالثًا: نُقِلَتْ قوةُ العضةِ بحيث تكون من خلال الاسنان على نحو أكثر مباشَرةً، بدلًا من الرافعة حول مفصل الفك. صار الفكُّ معلَّقًا بحامل [أو بنية تحتية] من العضلات، وخُفِّفَت الضغطات على مفصل الفك أثناء المضغ.

في الزواحف، يكون الفك السفلي متكوِّنًا من عدة عظمات، لكن عندما تحسنت كفاءة المضغ، صارت عظمة الفك السفلي [المضرس] dentary _العظمة الأكثر تصدرًا وأماميةُ في الفك السفلي_ هي الأكبر. صارت العظام الأخرى اصغر حجمًا وتجمعت في الخلف باتجاه مفصل الفك. خُفِّفَت الضغطات على مفصل الفك نفسِه عندما تطورت العضلة الماضغة، وصارت العظام الثلاثة خلف عظمة الفك السفلي dentary على كلا الجانبين متخصصةً في نقل الذبذبات الصوتية إلى العظم الرِكابيّ بدلًا من تقوية مؤخَّرِ عظم الفك. في آخر الأمر، صارت عظمة الفك السفلي [المَضْرَس] dentary العظمةَ الوحيدةَ في الفك السفلي وصارت العظام الأخرى جزءًا من الأُذُنِ.

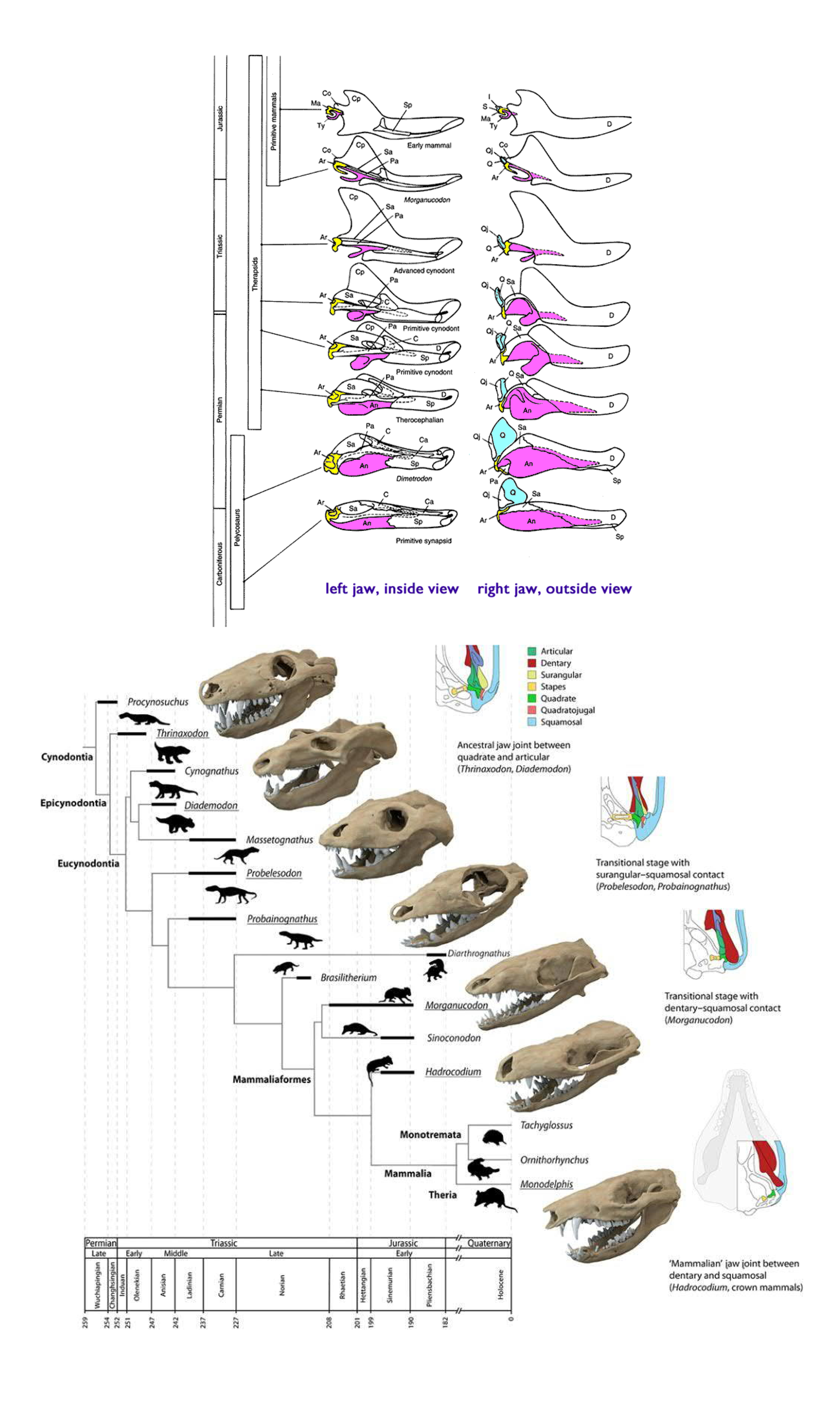




Thrinaxodon
Probainognathus
Morganucodon
Opossum
Only dentary-squamosal joint
Quadrate and articular much reduced
Both quadrate-articular and dentary-squamosal joints
Quadrate-articular joint only



"fish"
very early synapsid or sauropsid
advanced cynodont synapsid
mammal
hyomandibular (in fish) = stapes (in tetrapods)
quadrate (in non-mammals) = incus (in mammals)
articular (in non-mammals) = mallus (in mammals)



left jaw, inside view
right jaw, outside view
Primitive mammals
Therapsids
Pelycosaurs
Jurassic
Triassic
Permian
Carboniferous
Early mammal
Morganucodon
Advanced cynodont
Primitive cynodont
Primitive cynodont
Therocephalian
Dimetrodon
Primitive synapsid
Articular
Dentary
Surangular
Stapes
Quadrate
Quadratojugal
Squamosal
Ancestral jaw joint between quadrate and articular (Thrinaxodon, Diademodon)
Transitional stage with surangular–squamosal contact (Probelesodon, Probainognathus)
Transitional stage with dentary–squamosal contact (Morganucodon)
'Mammalian' jaw joint between dentary and squamosal (Hadrocodium, crown mammals)
Procynosuchus
Thrinaxodon
Cynognathus
Diademodon
Massetognathus
Probelesodon
Probainognathus
Diarthrognathus
Brasilitherium
Morganucodon
Sinoconodon
Hadrocodium
Tachyglossus
Ornithorhynchus
Monodelphis
Cynodontia
Epicynodontia
Eucynodontia
Mammaliaformes
Monotremata
Mammalia
Theria
Permian
Triassic
Jurassic
Quaternary
Late
Early
Middle
Late
Early
Wuchiapingian
Changhsingian
Induan
Olenekian
Anisian
Ladinian
Carnian
Norian
Rhaetian
Hettangian
Sinemurian
Pliensbachian
Holocene
259
254
252
251
247
242
237
227
208
201
199
190
182
0

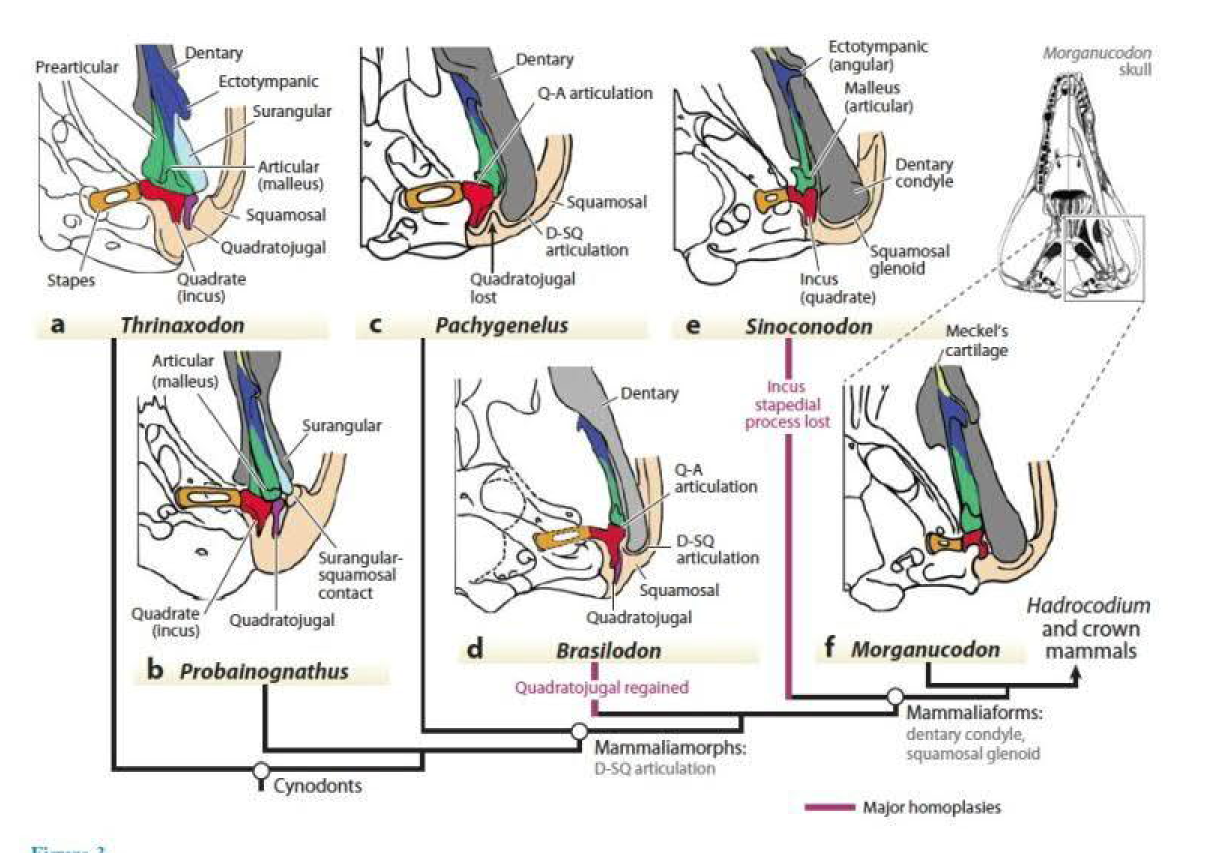
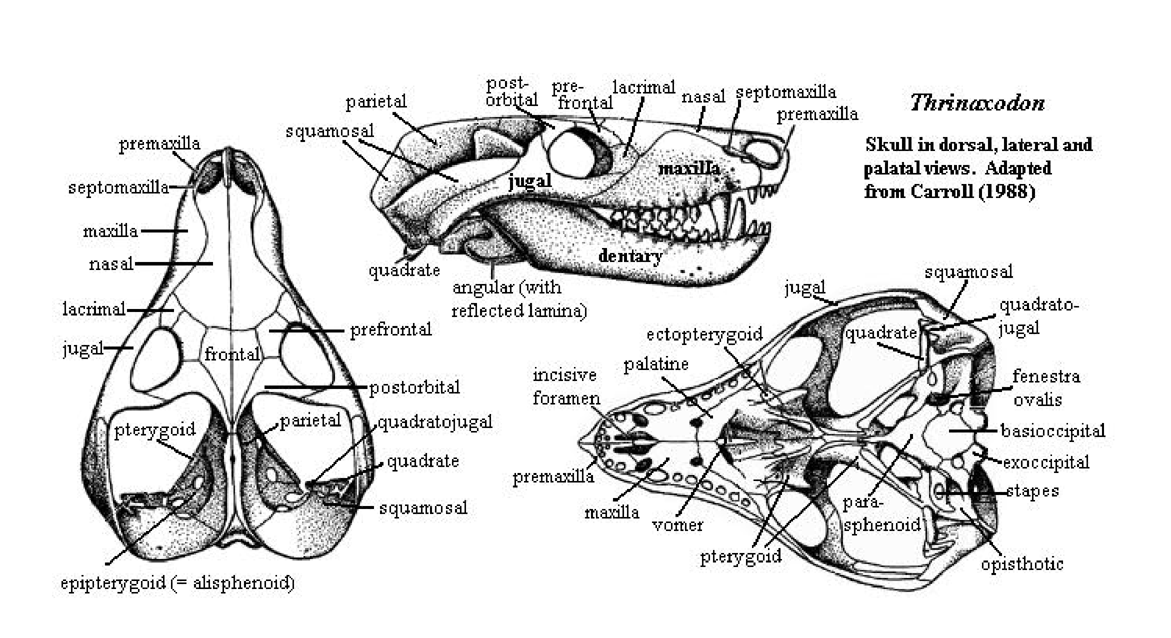


Figure 3

Major jaw hinge evolutionary patterns in premammalian cynodonts and mammaliaforms. (*a*) *Thrinaxodon*. (*b*) *Probainognathus* (Middle Triassic). (*c*) *Pachygenelus* (Early Jurassic). (*d*) *Brasilodon* (Liu & Olsen 2010), which is the same as *Brasilitherium* of Bonaparte et al. (2005) (Late Triassic; stapes from Maier et al. 2009 with permission). (*e*) *Sinoconodon*. (*f*) *Morganucodon* (Late Triassic–Early Jurassic). Both the neomorphic dentary-squamosal (D-SQ) joint and the plesiomorphic quadrate-articular (Q-A) joint are synovial joints that are mobile as jaw hinges from *Pachygenelus* through *Morganucodon* and also likely in other mammaliaforms such as *Microconodon*.

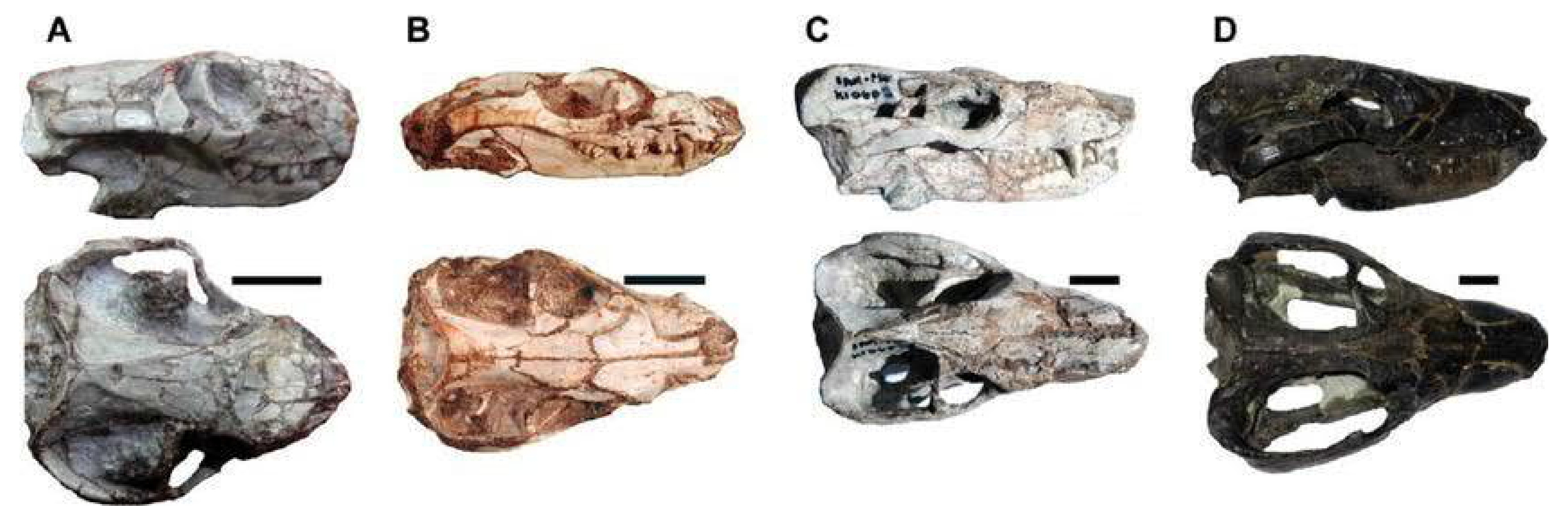
تطور عظام الفك والأذن الوسطى من البليكورسورات إلى الثيرابسيديَّات [الزواحف الشبيهة بالثدييّات] ومنها ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية وإلى الثدييَّات المبكرة

عندما حدث ذلك، أُعِيدَ تشكيل مفصل الفك تدريجيّا. في الزواحف يتعلَّق الفك بين العظمتين المفصلية والمُرَبَّعِية articular and quadrate، أما في الثدييَّات الحية فيتعلَّق الفك بين عظمتي الفك السفلي أي: المَضْرَس dentary على الفك السفلي والحرشفيّة squamosal على الفك العُلوي. شُغِلَ ذهنُ بعضِ الناسِ بخصوص القفزة الظاهرية الخاصة بمفصل الفك من زوجي عظام إلى أخريين، بما أن التطور عملية تدريجية. رغم ذلك، فكل العظام ذوات العلاقة بهذه النقلة التطورية كانت صغيرة ومتقاربة بعضها إلى بعض في جماجم الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلاب cynodonts، مما سمح بتغير تركيبي [بنيوي] كبير بدون استبدال [أو إزالة] لمفصل الفك (الصورتان ١٥– ١، و١٥– ٤).





الصورة ١٥– ٤ مسح بالأشعة الكمبيوترية لمتحجرة جمجمة Thrinaxodon [يعني اسمه بالجريكية [اليونانية]: ذو الأسنان ثلاثية الشعب]، وهو من ذوات الأسنان الشبيهة باسنان الكلاب a cynodont من العصر الترياسي المبكر [الأدنى] في قارة جندوانا العتيقة. كان طول الجمجمة حوالي ٧ سم. كان الحجم الصغير للتراكيب حول الفك وتقاربها في تموضعٍ متلاصقٍ سيسمح للمراحل التطورية التالية نحو الثدييات وذوات الأشكال الشبه ثديية بتغيرات كبيرة بدون تغييرات كبيرة في المكوِّنات العظمية للفك.

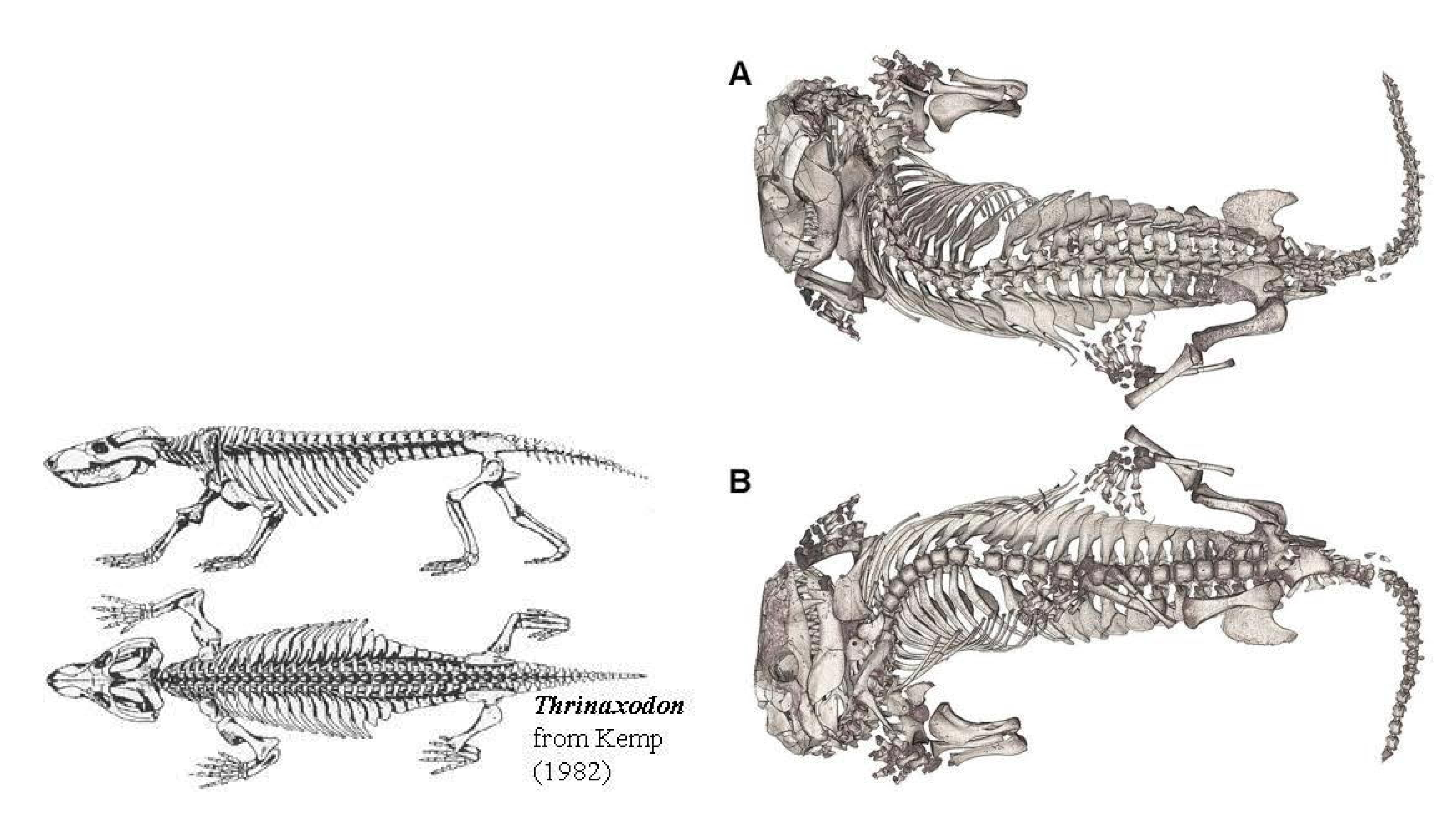


جمجام أربع عينات متحجرة لـThrinaxodon



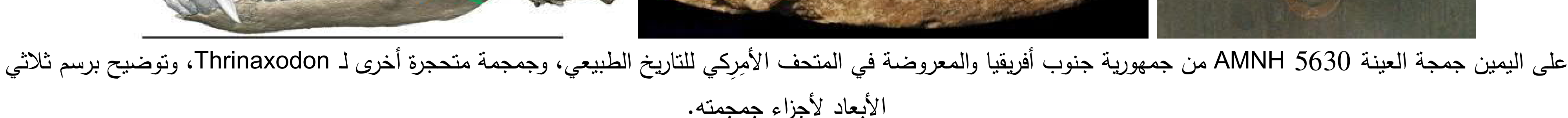


عينتان تحجرتا سويًّا لـ Thrinaxodon معروضتان في جمهورية جنوب أفريقيا، وإلى اليسار عينة أخرى من المتحف القومي للتاريخ الطبيعي في أمِركا

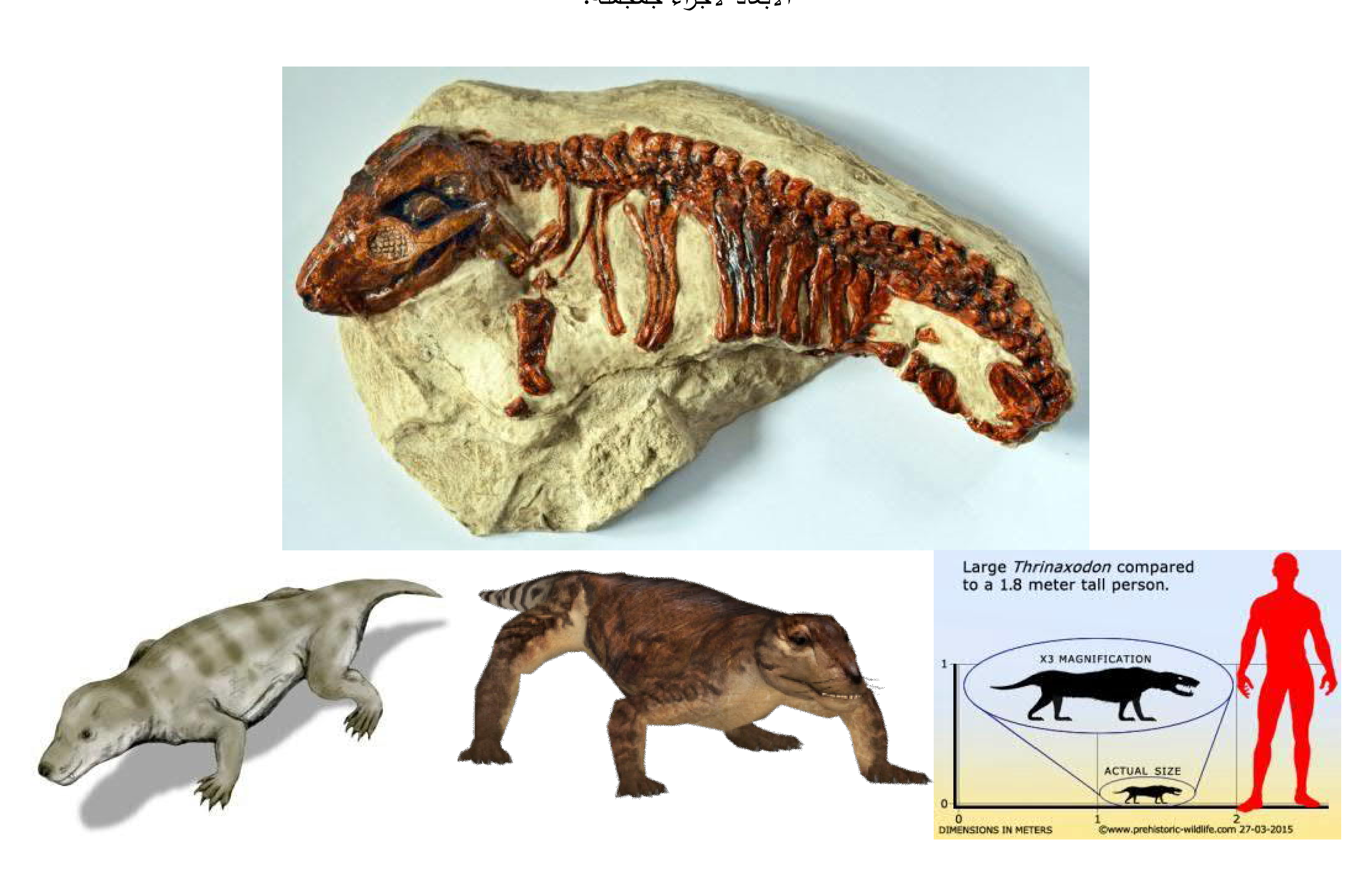


صورة بالأشعة الكمبيوترية لـ Thrinaxodon liorhinus_BP_1_7199 في جحره من السهول الفيضة في جمهورية جنوب أفريقيا، في حوض كارو الرسوبي Karoo Basin [حوض ترسيب، حوض نهر: منخفض طبيعي في سطح الأرض، كبر أو صغُر، تحيط به أرض أعلى منه، وتتدفق إلى هذه المنطقة المنخفضة جميع مصارف المياه من المناطق المجاورة، ويرافق ذلك ترسيب للرواسب المنقولة مع تلك المياه المتجمعة في ذلك الحوض. يحتوي الحوض عادة على ماء كالبركة أو البحيرة]. والصورة على اليمين إعادة بناء لهيكله العظمي.

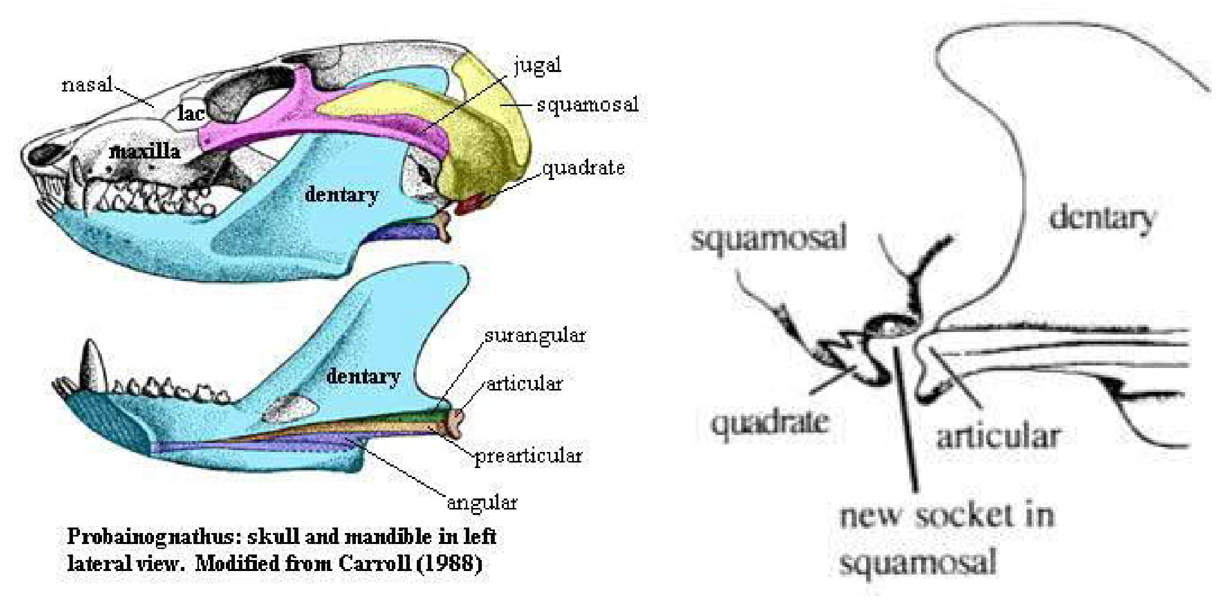




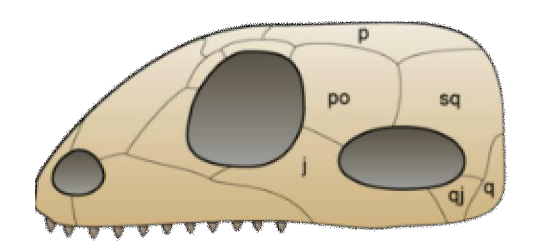
على اليمين جمجمة العينة AMNH 5630 من جمهورية جنوب أفريقيا والمعروضة في المتحف الأمِركي للتاريخ الطبيعي، وجمجمة متحجرة أخرى لـ Thrinaxodon، وتوضيح برسم ثلاثي الأبعاد لأجزاء جمجمته.



إن Probainognathus [يعني اسمه: ذو الأسنان الآخذة في التقدم أو السائرة في مسار التطور] _من العصر الترياسي المتوسط في أمِركا الجنوبية_ قريب جدًا من السلف الزاحفي ذي الأسنان الشبيهة بأسنان الكلاب cynodont الخاص بالثدييات (الصورة ١٥– ١). كانت لا تزال هناك تغيرات مُتَطلَّبة لإتمام النقلة تتضمن أحجامًا أصغر؛ وإكمال التغير في بنية الفك ليتعلق على العظمتين الحرشفية squamosal وعظمة المَضْرَس dentary فقط، وإكمال تكوين الأذن الوسطى من خلال الثلاث عظام "الزائدة" على كل جانب من الفك السفلي؛ وتكبير لحجم المخ، وتكوين أسنان ضواحك وضروس طواحن واضحة في الفك، واختزال إنبات واستبدال الأسنان إلى مجموعتين [أيْ: مرتين] فقط، ونحت أفضل للضروس، مع حركات الفك الثديي المصاحبة لذلك، وتغيرات في العمود الفقري تجعله أكثر مرونةً في انطوائه خلال القفز والوثب والجري. لم يكن أيٌّ من هذه التغييرات صعبًا أو غيرَ مُحتمَلٍ.



الصورة ١٥– ١ بنية مؤخرة الفك في Probainognathus ذي الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodont. كان الأمر سيتطلب نقلة صغيرة فقط لتغيير التمفصل بين العظمة المفصلية والمربعية _كما هو الوضع الطبيعي في الزواحف ذوات الفتحة الصدغية الواحدة synapsids المبكرة_ إلى تمفصل بين الفك السفلي والعظمة الحرشفية، كما هو الوضع الطبيعي في الثدييات.



مكان العظمة الحرشفية في زاحف وحيد الثقب الصدغي مثل البليكوسورات. Sq: squamosal in diapsid



السمع

مثل أسلافه، كان ذو الأسنان الشبيهة بالكلبية المبكِّر Procynosuchus [زاحف ما قبل زمن الكلاب أو الثدييات] يمتلك جهازًا سمعيًّا كان ينقل الذبذبات المحمولة أرضيًّا من خلال الطرفين الأماميين والحزام الصدري إلى المخ، عن طريق عظام الفك السفلي وعظم رِكَابِيّ ضخم. عندما ارتكزت تغذية الثيرابسيديَّات therapsids [الزواحف الشبيهة بالثدييات] على المضغ والتقطيع، صار مهمًّا للأسنان أن تُنظَّمَ على طول الفك (أو على وجه الدقة على طول عظمة المضرس dentary) وحتى المفصل الرَّزِّي. صارت العظام الثلاثة على كلا جانبي الفك وراء عظمة المضرس أصغر، وكذلك صار العظم الرِكابيُّ، وخصوصًا عندما صارت أحجام الثيرابسيديَّات أصغر حجمًا. تطور الجهاز السمعي ليرصد وينقل الصوتَ المحمولَ عن طريق الهواء، ومعه عظام الفك الخلفية.

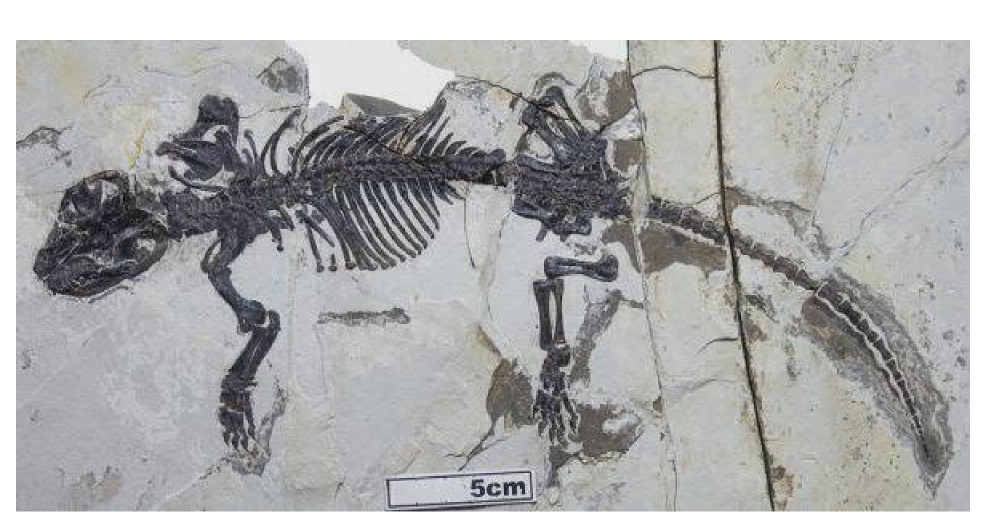
على نحوٍ واضحٍ، كان الصوت المحمول من خلال الهواء هامًّا على نحوٍ متزايدٍ للزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية المتأخرة وللثدييات المبكرة. ربما اصطادت الحشراتِ من خلال الصوت على الأقل جزئيًّا. كانت عظام الأذن الوسطى متصلةً بالفك في الثدييات المبكرة جدًّا، لكنها لاحقًا صارت متعلقة بالجمجمة منفصلة عنها. عندما صار طريق السمع منفصلًا عن الفك، لم تعد الثدييات تسمع صوت مضغها الخاص بها كثيرًا، بالتالي صار لها سمعٌ أفضل بكثير. لقد استغرق الأمرُ زمنًا، على الأرجح حتى العصر الجوارسي، ليُعادَ تنظيم الثلاثة عظام الأخرى في الأذن الوسطى "الثديية". وقد تطور في الثدييات المتقدمة المتطورة فقط الأذن الوسطى الحلزونية المعقَّدة.

اكتشاف Liaoconodon [اللياونِنجي ذي الضروس ذات الثلاث حدبات] (مقال مضاف من ترجمة المترجم من المواقع العلمية)

تحتوي الأذن الوسطى الخاصة بالثدييات على سلسلة من ثلاث عظام (العُظَيْمات السمعية)، وهي المطرقة والسندان والركاب. تنقل هذه السلسلةُ وتُضخِّم الذبذباتِ من طبلة الأذن إلى الأذن الوسطى. تمتد طبلة الأذن نفسُها (الغشاءُ الطبليُّ) على عظمة إضافية، هي ectotympanic, or tympanicum (العظمة الطبلية: حلقة عظمية في المنطقة الطبلية من العظم الصدغي يتعلق عليها الغشاء الطبلي). أما في كل الفقاريات البرية الأخرى، فإن عظمًا ركابيًا شبيهًا بالعصا هو العظمة الوحيدة التي تصل طبلة الأذن بالأذن الوسطى.

في عام ١٨٣٧م برهن عالم التشريح الجرمانيّ Karl Bogislaus Reichert لأول مرة بدراسته للتنمي الجنيني الخاص بالرأس في الأجنة الثديية أن عظمة المطرقة والعظمة الطبلية كانتا في الأصل جزءًا من الفك السفلي. تتنمى [تتطور جنينيًّا] عظمة المطرقة من بنية غضروفية تدعى بغضروف ميكِل Meckel's cartilage. يتناظر المفصل بين المطرقة والسندان مع المفصل بين العظمتين المفصلية articular والمربَّعية quadrate، وهما العظمتان اللتان تكوّنان مفصلَ الفك في البرمائيات والزواحف والطيور، أما الثدييات فقط فتطور فيها مفصل جديد للفك بين عظمتي المضرس dentary والحرشفية squamosal. إن سؤالي متى وكيف صارت هذه العناصر منفصلة عن الفك السفلي أثناء تطور الثدييات يظلان غير مجاب عنهما حتى الآن.

قدَّم الاكتشافُ _الذي نشره Jin Meng (من المتحف الأمِركِي للتاريخ الطبيعي– نيويورك) وزميلاه Yuanqing Wang و Chuankui Li (من الأكاديمية الصينية للعلوم) في المجلة العلمية الأسبوعية Nature "الطبيعة" في عام ٢٠١١_ لمتحجرة هيكل عظمي محفوظة على نحو رائع لكائن ذي صفات ثديية [ومن الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية] يعود إلى ١٢٠ مليون عام ماضٍ، وهو Liaoconodon hui [اللياوْنِنْجيّ ذو الضروس ذوات الثلاثة حدبات]_من إقليم Liaoning في شمالي شرق الصين (الصورة أدناه لمتحجرته) دليلًا حاسمًا جديدًا ذا علاقةٍ بهذين السؤالين. انتمى Liaoconodon إلى خط تحدر منقرض من ذوات الصفات الثديية، هو فصيلة Eutriconodonta ذوات الضروس ذوات الثلاث مخاريط المتطورة أو الحقيقية، والتي كانت منتشرة على نحو واسع ومتنوعة خلال العصرين الجوارسي والطباشيري.



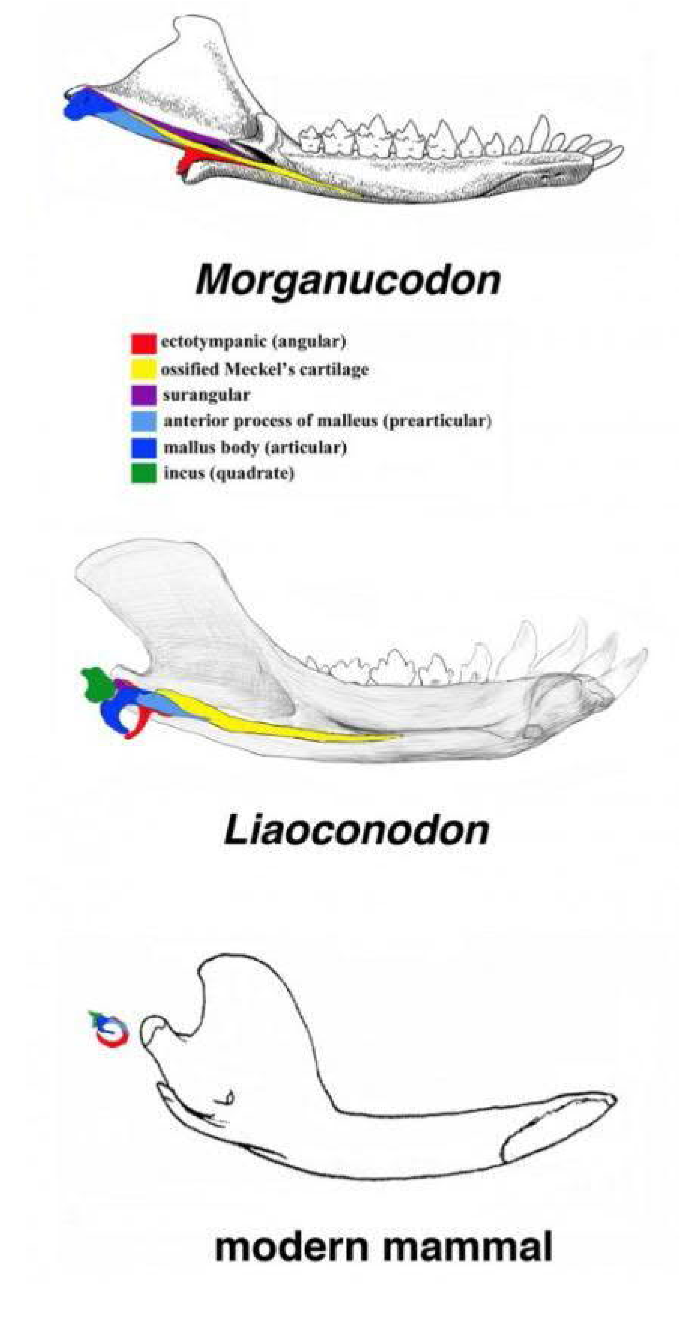
Liaoconodon hui [اللياوْنِنْجيّ ذو الضروس ذوات الثلاثة حدبات] من العصر الطباشيري الأدنى [المبكر] من تكوين Jiufotang من مقاطعة Liaoning في الصين. الطول الكلي للهيكل العظمي ٣٥, ٧ سم (١٤ ,٧٦ بوصة).

عندما تفحَّص Meng وزملاؤه جمجمةَ المتحجرة الجديدة أدركوا أن العظام الدقيقة الأحجام الخاصة بأذنه لا تزال محفوظة في وضعها أثناء حياته، متصلة بالفك السفلي.

يتميز Liaoning وأقاربه بامتلاك غضروف ميكِل متعظِّم (الصورة التالية). أما في الثدييات المعاصرة، يتكون قضيب ضروفي رفيع _هو غضروف ميكِل_ مبكرًا أثناء التنمِّي الجنيني. لاحقًا، تغطي عظمة المضرس المفردة الكبيرة هذا القضيبَ الغضروفيَّ. ويُمتَصُّ، تاركًا جزءَه الخلفيَّ فقط والذي يتحول إلى عظمة ويصير جزءًا من عُظَيْمة المطرقة. على الخلاف من ذلك، في eutriconodonts ذوات الضروس ذوات الثلاث حدبات المتطورة أو الحقيقية كان معظم غضروف ميكِل يصير منفصلًا عن الجزء الذي كان يكوّن عُظَيْمةَ المطرقةِ ثم يتحول إلى عظمة في البالغين. وتصير عُظَيْمات الأذن متصلة بهذا الغضروف المتعظِّم.

مكَّنَ الحفظُ الرائعُ لمتحجرة هيكل Liaoconodon العالمَ Meng وزملاءَه من تعقب تاريخ الانفصال بين جزئي عظم المطرقة. يلتف الجزء الأمامي من عظيمة المطرقة _والذي ليست مشتقًّا من غضروف ميكِل_ جزئيًّا حول غضروف ميكِل المتعظم في المتحجرة. وتتصل العظيمة الطبلية ectotympanic بعظيمة المطرقة.

في الثدييات المعاصرة تكون عُظَيمات الأذن الوسطى متصلة بالجمجمة، وقد تفكر الباحثون طويلًا بصدد المرحلة الوسطى بين هذا الوضع والوضع الخاص بذوات السمات الثديية المبكرة التي كانت لديها عظيمات الأذن لا تزال جزءًا من الفك السفلي، كانت أحد الاقتراحات بالنسبة لذلك الوضع الانتقالي هو وجود صلة مستمرة بين غضروف ميكِل وعظيمة المطرقة. تقدِّم متحجرة Liaoconodon [اللِياوْنِنْجي] الآنَ أولَ دليل حقيقي فعلي على تلك الصلة بين غضروف ميكِل المتعظِّم وعُظَيمات الأذن الوسطى في ذي سمات ثديية مبكر بالغ.



ثلاث مراحل في تطور عُظَيْمات الأذن في الثدييات. كان السلف البشير بالثدييات [ذو الصفات الثديية] Morganucodon من العصر الجوارسي المبكر لا يزال لديه عظيمات أذن متصلة بالكامل بالفك السفلي. يُظْهِر Liaoconodon [اللِياوْنِنْجيّ ذو الضروس ذوات الثلاث حدبات] تباينًا وتشكُّلًا أكثر في عظيمات الأذن مع احتفاظها بصلة مع الفك السفلي. تمتلك الثدييات المعاصرة الحديثة البالغة عُظيماتِ أذنٍ منفصلةً بالكامل عن الفك السفلي.

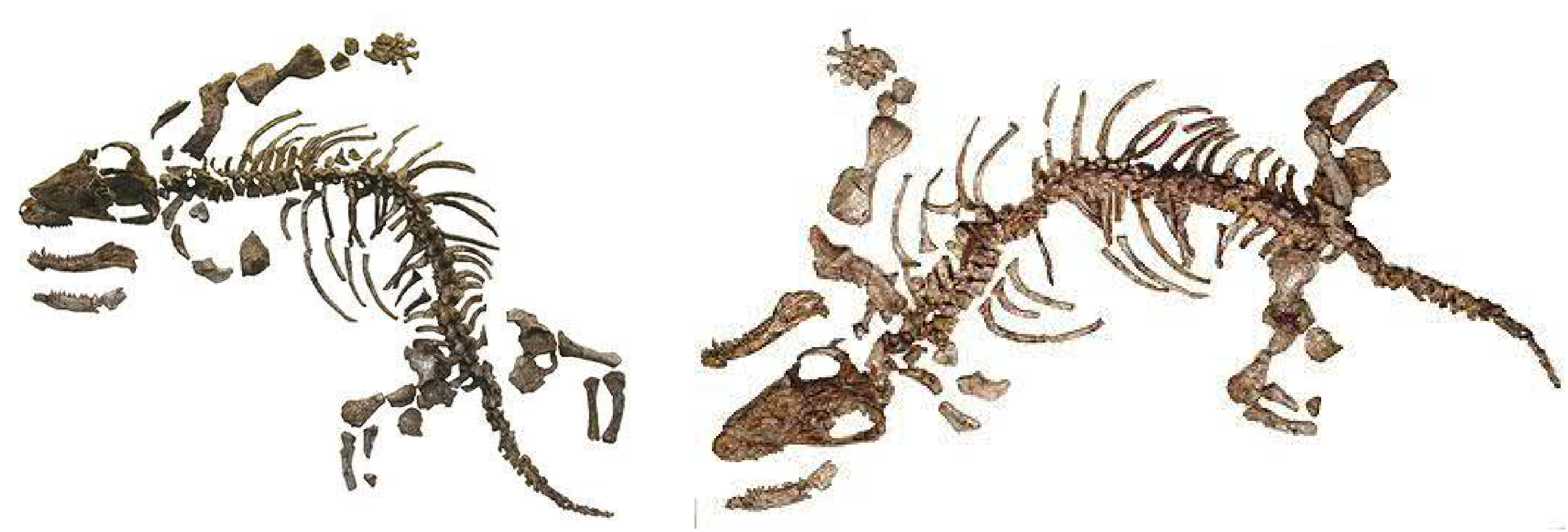
أما عن ماهية الدور الذي ربما قد قام به غضروف ميكِل المتعظِّم في Liaoconodon؛ فإن العظم الطبلي ectotympanic الخاص بـ Liaoconodon كان منفصلًا بالكامل عن الجمجمة وكان يدعم بوضوح جزءًا فقط من الطبلة. على النقيض، ففي الثدييات المعاصرة يكون العظم الطبلي ectotympanic ذو الشكل الحَلَقي متصلًا بالجمجمة ويدعم كاملَ طبلةِ الأذن تقريبًا. حاجَجَ [سعى للبرهنة] Meng وزملاؤه بأن جزءًا من طبلة الأذن في Liaoconodon كان متصلًا بالجمجمة لأن الغشاء الطبلي يحتاج أن يكون مشدودًا متوتِّرًا. وأن غضروف ميكل المتعظِّم كان يُبْقِي المطرقةَ والعظم الطبلي ectotympanic في مكانيهما. وأنه كان يعمل كجزء من الأذن، وليس كجزء من الفك السفلي، رغم أنه كان لا يزال متصلًّا بالفك السفلي.

لو أن ذلك التغير قد حدث مرةً واحدةً فقط في السلف المشترك للثدييات، فإن وجود غضروف ميكِل المتعظِّم في Liaoconodon وبعض ذوات الصفات الثديية المبكرة الأخرى يمثل انقلابًا تطوريًّا. هذا ممكن لأن مثل ذلك الانقلاب _بناءً على دراسات التنمِّي الجنيني الحديثة_ كان سيتطلب مجردَ تغيرات ضئيلة في توقيتات أحداث التنمِّي الجنيني. جادل Meng وزملاؤه بأن Liaoconodon وأقاربه التطوريين احتفظوا بنوع انتقالي من الأذن الوسطى، والتي لا بد أنها كانت أكثر فاعليةً وكفاءةً في نقل الصوت المحمول في الهواء من الأذن الوسطى في بشائر الثدييات ذوات الصفات الثديية الأبكر منها لأن عظيمات أذنه كانت أصغر نسبيًّا بالفعل، وكان للسندان حرية حركة أكبر، وكانت عظيمات الأذن الأخرى منفصلةً عن الفك السفلي. حسَّنَ الاتصال الغير محكَم لغضروف ميكِل المتعظِّم بالفك السفلي والاتصال بين غضروف ميكِل وعُظَيْمات الأذنِ السمعَ بفصله [فصل السمع] عن الأكل وصوت المضغ. رغم ذلك، يقترح المفصل الرزي بين المطرقة والسندان والتعلق الغير كامل لطبلة الأذن أن الأذن الوسطى الخاصة بـ Liaoconodon كانت أقل كفاءةً في نقل الصوت من الخاصة بالثدييات المعاصرة.

يسد اكتشافُ Liaoconodon آخرَ ثغرةٍ كبيرةٍ في فهمنا لإحدى أفضل النقلات التطورية توثيقًا في كل سجل المتحجرات. وهي التطور التدريجي لعظام الأذن الثديية من عظام في مؤخر الفك السفلي في بشائر الثدييات [الزواحف ذوات الصفات الثديية mammaliforms]

الأسنان واستبدال الأسنان

كان لذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية Cynodonts أسنان متباينة مثل الخاصة بالكثير من الثدييات اللاحقة. كان لديها أسنان ذوات شُرُفات [حدبات، أنياب خلفية] معقدة عديدة وراء الأنياب، مما يدل على معالجة أكثر تعقيدًا للطعام مما في الثيرابسيديَّات الأخرى therapsids. وفَّرَت تغيراتُ الفكِّ قوةَ عضٍّ أكبر قُرْبَ المفصل الرَزِّي وأخطاءً أصغرّ في انطباق الفك. صارت الأسنان نفسها _كونها تتقابل مع نظيراتها في الجانب الآخر من الفك بدقة_ منحوتةً بإتقان للقيام بوظائفها بدقة. تطوَّر في ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts المختلفة _ربما لاختلاف أنظمتها الغذائية_ حركاتٌ قاطعة أو محطِّمة أو مُمَزِّقة [مقطِّعة إلى قطع صغيرة]. ربما كان Procynosuchus [زاحف زمن ما قبل الكلاب أو الثدييات] _وهو ذو أسنان شبيهة بالكلبية cynodont مُبكِّر (المخطط التطوري ١٥- ٢، والصور أدناه)_ أول ثيرابسيدي therapsid [زاحف شبيه بالثدييات] يمضغ الحشراتِ بدلًا من سحقها وابتلاعها كاملةً. يظهر [وجود] التقطيع والتمزيق بوضوح على نحو جيد في ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts اللاحمة [المفترِسة] اللاحقة زمنيًّا، وربما كان هناك شحذ [سَنٌّ، بَرْيٌ] ذاتيٌّ محدودٌ للأسنان [من خلال الاستعمال]. وفي ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts النباتية كانت الأسنان مُجَهَّزَةً للسحق، وكانت الأسطح المتلاقية لها المَبْلِيَّة على نحو خفيف تجعلها أسطحًا ساحقة أفضل من أسطح الأسنان الجديدة. انظر _كمثال_ إلى أسنان دائمة لطفل تظهر حديثًا له لترى كيف يكون حدها غير منتظم وغير معتاد عندما تبرُزُ لأولِ مرةٍ.



متحجرة لـ Procynosuchus delaharpeae في متحف جامعة أكسفورد ببريطانيا، رقم العينة TSK 34، عُثِر عليها في زامبيا، بوادي لوانجوا الأوسط Middle Luangwa، في الصخر الطيني بمادومبابيسا Madumbabisa



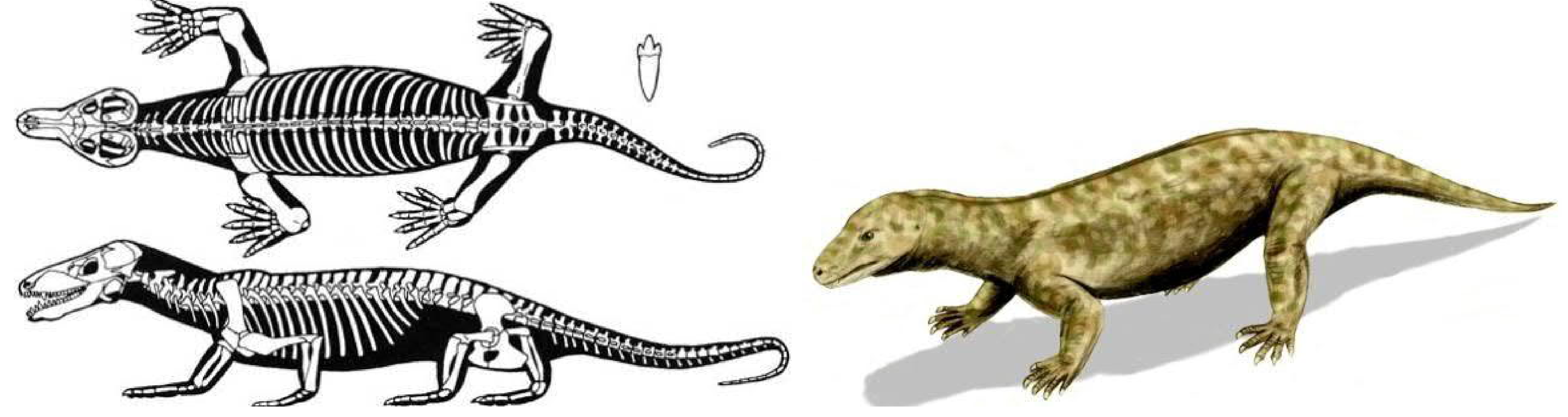
جمجمة Procynosuchus delaharpeae من منظر ظهري، وفكه السفلي من منظور جانبي، من نفس المتحجرة التي عثر عليها في زامبيا والمعروضة في متحف جامعة أكسفورد



إعادة بناء لـ Procynosuchus delaharpeae معروضة في متحف جامعة أكسفورد، على أساس العينة الأصلية رقم TSK 34



إعادة بناء للهيكل العظمي لـ Procynosuchus delaharpeae في المتحف القومي للطبيعة والعلم– توكيو – اليابان



رسما إعادة بناء للشكل الخارجي والهيكل العظمي الخاص بـ Procynosuchus delaharpeae

تستبدل الزاوحفُ أسنانَها كثيرًا أثناء حياتها، ورغم أن العملية لها نمط نظاميٌّ ما، فإن أي زاحف بالغ يمتلك خليطًا من أسنانٍ أقدم أكبر حجمًا وأسنان أحدث أصغر حجمًا على طول فكِّه. هذا يعني أن الأسنان العُلوية والسفلية لا يمكِن أن تتلاقى بدقة في تقابلها مع بعضها البعض، لذلك فإن وظائف الأسنان بدائية غير بارعة نسبيًّا وبالمقارنة. على النقيض من ذلك، في الزواحف الثيرابسيدية ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية كان الفك معلَّقًا بمجموعة من العضلات مُعاد ومُعدَّل تنظيمها بحيث كان التحكم بالفك أكثرَ دقةً؛ وتُظْهِر أسنانُها [في متحجراتها] انطباقًا [أو إغلاقًا] دقيقًا بين الفكين العلوي والسفلي. لا بد أن استبدال الأسنان قد كان مضبوطًا مسيطَرًا عليه أكثرَ وأقل تكرُّرًا في الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية عما هو في الزواحف الأخرى العاديّة، ويؤكِّد سجلُ المتحجراتِ ذلك. كانت أسنان الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية تُستبدَل بدقة، للحفاظ على انطباق جيد للأسنان المختلفة المتباينة

المتخصصة على طول فكٍّ ينمو. بالتالي، كانت الأسنان الشبيهة بالضروس الخاصة بالحيوانات الصغيرة منها تُستبدَل بأنيابٍ، بينما كانت أسنان شبيهة بالضروس جديدة تُضاف إلى مؤخَّر الفكِّ.

المخ

حدثت الزيادة الهائلة في حجم المخ وتعقيده بين ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية المتقدمة المتطورة والثدييات في نفس وقت حدوث التغيرات في الفك وبنية الأذن. اقترحَ Tim Rowe في عام ١٩٩٦م أن هذه التغيرات كانت متصلة. فقال أن ساعة النمو أُعِيدَ ضبطُها على نحو جوهري، مما سمح للمخ بأنْ يظل ينمو لوقت أطول من التراكيب المحيطة به. عندما تَكَيَّفَتْ الجمجمةُ والفكُّ لتتلاءمَ مع مخٍّ أكبرَ، حدثت تغيراتٌ أخرى. في حيوان الأوبوسوم الحي المعاصر [من الجِرابيَّات] تصل عظام الأذن إلى حجمها البالغ بعد ثلاثة أسابيع، بينما ينمو المخ لمدة ١٢ أسبوعًا.

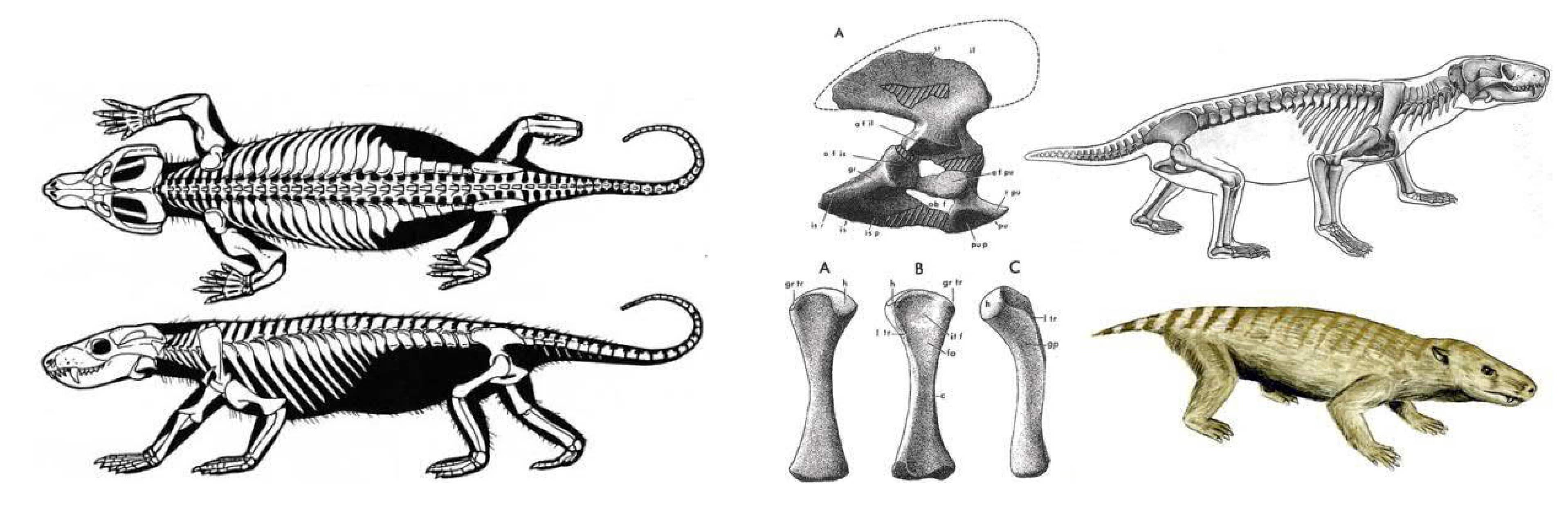
لا يفسر اقتراح روو Rowe التغيراتِ في الفك والأذن، لكنه يقدم وضعًا تطوريًّا أمكن فيه للتغيرات أن تحدث. إنه يقدم سياقًا إيكولُجيًّا و/ أو سلوكيًّا تطور فيه مخٌّ كبير نسبيًّا وأكثر تعقيدًا، وهو [الاقتراح] يحثنا على التساؤل عن سبب أهمية مثل ذلك المخ لثديي؟

الحركة

كانت ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية Cynodonts لا تزال لديها الحركة الشبيهة بعجلة اليد (راجع الفصل ١٠)؛ قدَّم الطرفان الخلفيان قوةَ الدفعِ بينما قدَّم الطرفان الأماميان دعمًا خاملًا سلبيًّا فقط. تطور الطرفان الخلفيان لذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية ليصيرا شبهَ منتصِبيَنِ، بينما ظل الطرفان الخلفيان متفرشحَيْنِ (الصورة ١٥– ٥). جعل ذلك التغير في الطرفين الخلفيين القدمين أقربَ إلى بعضهما البعض، وتغيَّرَ الكاحل على نحوٍ كافٍ ليعطي دفعًا مباشرًا على طول خط الحركة. سمح بعضُ التحسنِ في مفاصل الكتف بحركة أفضل، لكنه كان نمط عجلة يد أفضل فقط. يُظْهِرُ العمودُ الفقريُّ تكيفاتٍ باتجاهِ صلابةٍ أكبر، لذلك نُقِلَتْ تلك القوةُ للحركةِ على نحوٍ أكثرَ فاعليةً من الطرفين الخلفيين. تطوَّرَ في أقرب ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية إلى الثدييات _وهي tritylodonts [الفصيلةَ الشبيهة بالقوارض ذوات الأسنان ذوات الثلاث أطراف مستدقة أو منحنَيات]_ عظامٌ مرتبطة بالعانة Epipubic bones [وهي زوج من العظام يبرز إلى الأمام من العظم الحوضي العاني الخاص بالجرابيات الحديثة والثدييات الأولية البيوضة ومعظم متحجرات الثدييات الغير مشيمية مثل متعددة الحديبات السنية Multituberculata وحتى المشيمية الأولية القاعدية أسلاف الثدييات المشيمية]، والتي تبرُزُ من الحوض وتتفاعل مع عضلات جدار الجسد لتصليب الجذع. تطور في ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية المتأخرة زمنيًّا أيضًا فقراتُ رقبةٍ أكثرُ مرونةً، بالتالي أمكن للرأس أن يدور بحرية على جسدٍ متصلِّبٍ. حتى مع هذه التغيرات في ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية، فإن الأطراف المنتصبة الحقيقية لم تتطور في الثدييات الأوائل، بل جاءت متأخرةً عن ذلك بكثيرٍ.

تنظيم درجة حرارة الجسد ومستوى التمثيل الغذائي

بسبب كون فكوكها وأسنانها تُظهِر تأكيدًا على معالجة الغذاء الكفؤة، فقد كان لذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts على الأرجح معدَّلات تمثيل غذائي أعلى من البليكوسورات pelycosaurs. هذا لا يعني أن ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية وصلت إلى مستويات التمثيل الغذائي الخاصة بالثدييات الحديثة، وخصوصًا أن أطرافها (وخاصةً الطرفين الأماميين) كانا شبه منتصبين في أحسن الأحوال. كان العمود الفقري للثيرابسيديَّات لا يزال يتثنَّى جانبيًّا يمينًا ويسارًا وليس إلى أعلى وأسفل (لكن ليس في Thrinaxodonin _الصورتان ١٥– ٥_ الذي ربما كانت ضلوعه المتوسعة على نحو عجيب أداة معدَّلة لمنع التثنِّي الجانبي).



الصورة ١٥– ٥ الزاحف ذو الأسنان الشبيهة بالكلبية Thrinaxodon، تظهر في الصورة بنية الضلوع.

للثدييات البدائية في العصر الحالي مستويات تمثيل غذائي منخفضة نسبيًا، وهي تنظم درجة حرارة أجسادها عند درجات حرارة أدنى بكثير من الخاصة بمعظم الثدييات. كانت الثيرابسيديَّات Therapsids في معظمها متوسطة أحجام الأجساد، وذوات أجساد مربوعة [قصيرة ممتلئة]. ربما عاشت بدرجة حرارة جسدية ٢٨– ٣٠ درجة مئوية (٨٢– ٨٦ فهرنهايت)، أقل بقليل من الثدييات البدائية المعاصرة. بعبارة أخرى: ربما كانت حارة الدماء على نحو محدود، ذوات تنظيم درجة حرارة بدائي على الأقل.

أيًا ما كانت درجاتُ حرارةِ أجسادِ الثيرابسيديَّات، فإنها لم تطور أداءً عظيمًا. لقد حسَّنَت تنفسَها على نحوٍ كافٍ للحفاظ على معدل تمثيل غذائي أوَلِيّ عالٍ بدرجة محدودة (ربما طورت الحجاب الحاجز، وهو ما قد توحي به ضلوع Thrinaxodon)، لكنها لم تكن رياضية منتصبة القامة على النحو الذي كانت عليه الديناصورات، ولم يمكنها دعم سرعة عالية مستمرة ثابتة بسبب قيد كاريير. ربما طورت الثيرابسيديَّات تنظيم درجة حرارة داخلي ذاتي بدون حل مشكلة قيد كاريير. لقد كانت فسيولُجِيَّة الثيرابسيديَّات على الأرجح مختلفةً على نحو درامي [كبير] عن الخاصة بالثدييات الحية المعاصرة، وعن الخاصة بالزواحف الحية المعاصرة، وعن الخاصة بالديناصورات.

عندما تطورت الثيرابسيديَّات إلى ثدييات، صارت أصغر حجمًا. كان زاحف ثيرابسيدي ذو تنظيم درجة حرارة ذاتي داخلي سيجد هذا صعبًا، لأن الأجساد الصغيرة الأحجام تفقد الحرارةَ أسرعَ من الكبيرة الأحجام. أحد الحلول المحتمَلة تقترحه طريقة تنظيم درجة الحرارة الجسدة من خلال طريقة الاعتياش في الجِرابِيّ الضئيل الأسترالي Pseudantechinus [شبيه "الفأر" الجِرابي antechinus العريض القدمين آكل الحشرات ومنها النمل، من رتبة ذوات الذيل المشعر Dasyuromorphia]_ الذي يبحث عن الحشرات ليلًا في الصحراء الأسترالية. هذه ليست مشكلة في الصيف، لكن درجات حرارة الصحراء ليلًا في الشتاء تكون عادةً تحت الصفر [درجة التجمد]. إن Pseudantechinus [شبيه الفأر الجرابي] صغير الحجم للغاية لدرجة أنه لا يستطيع الحفاظ على درجة حرارة جسده في الهواء البارد المُجَمِّد. لذلك فإنه في الشتاء يبحث عن الغذاء حتى يصير الجوُّ باردًا، ثم يمضي إلى مأوى ويسمح لدرجة حرارة جسده بالانخفاض حتى درجة السبات [أو الخدر]، تحت درجة حرارته الطبيعة بعشر درجات مئوية أو أكثر. ثم يصحو في النهار، فيتشمَّس ليستعيد حرارةَ جسده ويهضم طعامَه، ثم يغامر في الغَسَقِ [أول الليل] بالبحث عن الحشرات بينما لا يزال الجو دافئًا. ربما استعمَلَتْ هذه الاستراتيجيةَ أوائلُ الثديياتِ أيضًا، إلى أن "أنجَزَتْ" [أو بالأحرى تطوَّر فيها] التنظيم الثابت المنتظِم لدرجةِ حرارةِ الجسد لاحقًا زمنيًّا في دهر الحياة الوسطى Mesozoic.

سماتٌ ثدييَّةٌ أخرى

لعظام خطوم الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts حُفَرٌ وأخاديدُ [أو ثَلَماتٌ] توحي بوجود أوعية دموية وقنوات عصبية هامّة. توحي الأدلة من متحجرات ذي الأسنان الشبيهة بالكلبية المبكِّر Procynosuchus [زاحف زمن ما قبل الكلاب أو الثدييات] بوجود جلد ضيق متلائم حول الخطم ما عدا حول الفم مباشرةً. ربما كان لـ Procynosuchus شفتانِ متطوِّرتانِ على نحو جيدٍ وذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts اللاحقة زمنيًّا، لتنسجم مع المضغ الإضافي الأكثر المُسْتَدَلِّ عليه من الأسنان والفكوك (ناهيك عن احتمالية الرضاعة في رُضَّع Procynosuchus !). ربما يقترح وجود إمداد دموي جيد التطور للخطم وجود أعضاء استشعارية هامّة مثل الشوارب والأنف.

لـ Procynosuchus [زاحف زمن ما قبل الثدييات] قواطع سفلية مصفوفة في شكل أفقي. يوجد ترتيب مشابه في الليمورات [حيوانات الهبَّار المدغشقرية] الحية، والتي تستخدم قواطعها لتنظيف وتهذيب فرو أعضاء القطيع الآخري. لو كان هذا صحيحًا بالنسبة لـ Procynosuchus، فإنه يقترح بقوةٍ أن كل ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية كان لديها شعر أو فرو.

التكاثر الثديي

الاختلافات البيولُجِيّة الرئيسية بين الزواحف الحية والثدييات الحية ليست في هياكلها العظمية، بل في سمات أخرى. للزواحف بيض كبير ذي مخزونِ طاقةٍ كبيرٍ، وفقسها الصغير السن كأطفال مستقلين قادرين على الحياة بدون عناية أبوية. أما الثدييات فلها بييضات صغيرة، ويعتمد صغارها على الرعاية الأبوية. الاختلافات الرئيسية الأخرى فسيولُجِيّة [خاصة بوظائف الأعضاء]؛ فمعظم الثدييات الحية لديها درجات حرارة جسدية مرتفعة وشعر لعزلها حراريًّا، بينما تفتقد تفتقد الزواحف الشعر وهي باردة الدماء.

للحيوانات الصغيرة الأحجام الدافئة الدماء [ذاتية تنظيم درجة حرارة الجسد] نسبة عالية لسطح الجسد مقارنةً بالحجم، وهذا ينطبق بالأخص على الأفراد الصغار السن الضئيلين. لو كانت الثيرابسيديَّات therapsids حارة الدماء، فكيف تعاملت مع هذه المشكلة؟ وكيف يمكن أن يكون لهذه المشكلة علاقة وتأثير على نشأة الثدييات، وخصوصًا في ضوء حقيقة أن الثدييات الأبكر كانت ضئيلة الأحجام (أصغر من الفئران)؟ يجب أن تجد وتأكل الحيواناتُ الحارة الدماء الضئيلة الأحجام كمياتٍ كبيرةً من الطعام مقارنةً مع أحجام أجسادها.

نستطيع أن نجد المزيد من الدلائل الإرشادية من خلال فقاريات حارة الدماء صغيرة الأحجام حية معاصرة، ...الطيور. الكثير من أفراخ أنواع الطيور تكون عاجزةً وباردة الدماء. إنها تعتمد على أبويها للتغذية والتدفئة، ولها معدل تمثيل غذائي منخفض جدًّا. لكنْ لأنها ليس عليها أن تجد طعامَها الخاص بها بنفسها لتظل دافئةً، تستطيع الأفراخُ تخصيصَ كلِّ سعةِ [أو كمية] غذائها للنمو. للأفراخ العاجزة أجهزة هضمية كبيرة جدًّا بالنسبة لأحجامها. تأتي حرارةُ الدماءِ والتحكمُ في درجة الحرارة والقدرة على الحركة المتناسقة لاحقًا وتدريجيًّا. تتجنَّب هذه الاستراتيجيةُ مشكلة توفير حرارة الدماء في أحجام الأجساد الصغيرة، حيث تكون الأفراخ باردة الدماء جوهريًّا حتى تنمو إلى حجمٍ جوهريٍّ. علاوة على ذلك، تمنع معظمُ الطيورِ التقلباتِ الجويةَ البيئية عن فروخها بالاعتناء بها في أعشاشٍ مصمَّمةٍ للحفاظ على درجة حرارة منتظِمة. لكن هذا النظام يتطلَّب عناية مشدَّدة من قِبَلِ أحد أو كلا الأبوين.

الأكثر احتمالًا ورُجحانًا أن الثيرابسيديَّات المتأخرة زمنيًّا والثدييات اتبعت [اتخذت] إستراتيجيةً مشابهةً ما، لكنْ في الجحور بدلًا من الأعشاش. كان الثيرابسيدي الضئيل الحجم Diictodon [ذي السنين الشبيهتين بأسنان العرسة] في نهاية العصر البِرْمي المتأخر يحفر جحورًا (الصور ١٠– ١٧). عندما تطورت الثيرابسيديَّات إلى أحجامٍ صغيرة جدًّا في العصر الترياسي المتأخر، صارت الحاجةُ إلى العناية الأبوية أكثرَ فأكثرَ خطورةً على نحوٍ متزايدٍ. عندما صار الحوض أصغرَ، صار البيضُ بالضرورة والحتمية أصغرَ فأصغرَ، مع مُحٍّ [صفارٍ] أقلَّ فأقلَّ، وصارت الصغار تفقس أبكرَ وتكون عاجزةً أكثرَ. رغم تحرر الأبوين من المشكلة التشريحية الخاصة بوضع بيضٍ كبيرٍ، فقد صارا حينذاكَ متكرّسين لتوفير إمدادِ غذاءٍ ثابتٍ للصغار بعد الفقس، مثل الطيور وبخلاف معظم الزواحف. رغم ذلك، فقد قدَّمَ البيضُ الأصغرُ والنموُّ السريعُ للفروخِ المفقوسةِ العاجزةِ فرصةً لمعدَّلات تكاثر سريعة جدًّا ببطونٍ (أو فقساتٍ) متقاربة جدًّا.

الرضاعة

لا تزال الثدييات الأَوَلِيَّة وحيدة المسلك الإخراجي monotremes [أو الكظاميَّات، ذوات المذرق: المخرج المشترك للبول والبراز معًا على طريقة الزواحف والطيور] الحية المعاصرة لديها نفس نوع التكاثر الذي استدللنا عليه بالنسبة لذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts المتطورة والثدييات المبكرة. إن البلاتيبوس platypus [مسطح القدمين غشائيُّها، ذو منقار البطة، خلد الماء] يضع ويفقّس بيضًا صغير الحجم في عش بداخل جحر. تغْذِي الثدييات الوحيدة المسلك أيضًا صغارها المفقوسة بالإرضاع، بدلًا من جمع الطعام لها. لهذا السلوك مميّزات [أفضليَّات]: حيث لا تحتاج الأم إلى ترك الصغير المفقوس حديثًا بحثًا عن طعامٍ مناسبٍ لها، لأن أي طعام عادي خاص بالبالغين يمكن تحويله إلى حليب. لا تملك وحيدات المسلك أثداء ولا حلمات ولكنها تغذي صغارها من فصّين صغيرين في كيس مؤقت. يهضم الصغار حديثو الفقس الحليبَ بسهولةٍ، ولا تكون أمها بعيدةً أبدًا عنها، وتوفر لها

الحمايةَ والتدفئة. [أما آكل النمل الشائك [النضناض] _وهو الجنس الآخر الوحيد الحي من الثدييات الأولية أو وحيدة المسلك الإخراجي وله أربعة أنواع حية _فيضع بيضة واحدة في أواخر الصيف ولكنه لا يبني عشًّا فالبيضة تنتقل إلى (جيب) أو جراب مؤقت مكون من طية جلدية على بطن الأم بخطمها أو بيدها وتفقس البيضة بعد عشرة أيام. ويلحس الصغير حليب أمه ويظل ضمن الجراب لمدة حوالي عشرة أسابيع وعند ذاك تكون الأشواك على جسمه قد بدأت تقسو فتتركه الأم في مكان أمين، وتزوره بانتظام وتغذيه وبعد حوالي سنة يكون الصغير قد أكمل نموه وأصبح قادرًا على العناية بنفسه].





الثدييات الوحيدة المسلك الإخراجي أو الأولية البيوضة [Prototheria or monotremes] وتتضمن البلاتيبوس platypus أو "خلد الماء" وآكل النمل الشوكي القصير المنقار والطويل المنقار وإعادة بناء لأحد الأجناس المنقرضة المعروفة من المتحجرات لهذه الرتبة وهو Steropodon

اقترح تشارلز داروِن Charles Darwin الكيفيةَ التي يمكن أن تكون الرضاعة قد تطورت بها في الثدييات، حتى قبل أن يكتشف العلمُ الغربيُّ الحديثُ الثدييات وحيدة المسلك الأَوَّلِيَّةَ. لقد بقيت نظريته مع تعديلات ثانوية عليها فقط. فلنفترض أن أسلاف الثدييات كانت مسبقًا ترعى البيضَ بحضنه. ربما أفرزت غدةٌ خاصةٌ رطوبةً لإبقاء البيض رطبًا أثناء حضن البيض. الصغار المفقوسون حديثًا الذين لعقوا غدةَ الحضنِ استفادوا باكتساب الماء للتعامل مع الطعام الذي يجلبه الوالدان، وربما كان للإفرازات ميزة زائدة بكونها مضادة للبكتيريا. كان ذلك التكيف انتخابيًّا [ناتجًا عن الانتخاب الطبيعي ويؤيده الانتخاب] طالما ساعد السائلُ الصغارَ الحديثي الفقسِ على البقاء أحياءً والنموّ. تدريجيًّا، كلما احتوت الإفرازاتُ على أملاح معدنية وآثار أو مقادير ضئيلة من العناصر ثم مركَّبات عضوية مغذِّية (حليب) وكذلك ماء، أمكن تقليل رحلات الأم للبحث عن الطعام واستفاد الصغار الحديثو الفقس أكثر بحضورها المتزايد. تلا ذلك التطور السريع لصنع وإفراز الحليب الكامل من حلمات متخصصة، مع رضاعة كفؤة من جانب الصغا الحديثي الفقس.

إن نظام الثدييات مثير للاهتمام لأن الوالدة الأنثى فقط هي المتخصصة في امتلاك غدد لبنية، بحيث يتولى الوالد الذكر دورًا صغيرًا أو لا يقوم بأي دورٍ في رعاية الصغار. لذكور الثدييات حلمات بالتأكيد، ولا يوجد سبب كيميائي–حيوي واضح لكون الثدييات الرضيعة ينبغي أن تَرْضِعَ فقط من الوالدة الأنثى، بالتالي فإن السبب على الأرجح جيني. يتحكَّم في تنمِّي الغددِ اللبنيةِ في الثدييَّات مجموعةٌ من جينات Hox التي هي عامةٌ [مشترَكة عمومية] في الحيوانات البَعْدِيَّة [الميتازوا metazoans]، تُنَسِّقُ وتُنظِّم على نحو نموذجي [مواضعَ وتوزيعَ] الأعصاب والفقرات والأقسام والأطراف وأجهزة الجسد الأخرى. على نحو يقينيٍّ تقريبًا، يُشَغَّل إفرازُ الحليب _بالتحكم الجينيِّ_ عندما تمر الأنثى بالحمل والوضع. إن نظام التشغيل معقَّد، وبه عناصر من ثلاث من الأربع مجموعات جينات Hox المستقلة التي تحملها الثدييات. حتى في الإناث، توجد طفرات تحدث أحيانًا تُبْطِل أو تؤدِّي إلى اضطراب هذا النظام المعقَّد. وبما أن الذكور لا يمرُّون بالحمل، فإنها [الجينات] لا تتلقَّى إشاراتٍ لتشغيل جيناتِ إفرازِ الحليبِ.

يمكن تأريخ تطور الرضاعة على نحوٍ غيرِ مباشرٍ. كان لذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts حنكٌ ثانوي واستطاعت المضغَ أثناء تنفسها، لكن حتى أكثر رُضَّعِ ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية ضآلةً كان له أسنان وبالتالي فهي لم ترضع على الأرجح. ربما جلبت الوالدة [أو الوالدان] الطعامَ إلى العش أو إلى داخل الجحر. أما أوائل الثدييات فكان لها إبدالُ اسنانٍ محدودٌ جدًّا، ربما كان ذا صلةٍ بأحجامها الصغيرة وقصر أعمارها، وقد رَضَعَتْ [أو أَرْضَعَتْ] على الأرجح بطريقةٍ ما. لم تكن النقلة التطورية من اللعق إلى الرَضْعِ في رُضَّعِ الثدييات بقدر البساطة التي قد تبدو عليها؛ فالرَضْعُ يَتَطَلَّب وجْنَتين [خَدَّيْن] مرنَيْن وتامَّيْن. لا بد أن الوجنتين قد تطورتا _بجوار ومع سمات "ثدييّة" أخرى كثيرة_ ضمنَ ذواتِ الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts الخاصة بالعصر الترياسي. بالتأكيد احتيجَ [تُطُلِّبَ] نوعٌ ما من الوِجْنة [الخدّ] لتغطية العضلة الماضغة [أو عضلة الفك السفلي الرافعة] masseter التي كانت قد تطورت حديثًا.

الولادة

بافتراض أن الثدييات كانت قد وصلت إلى مرحلة التكاثر بطريقة مماثلة للخاصة بالثدييات الأوليَّة ذوات المسلك الإخراجي الواحد monotremes؛ أيْ أنها كانت تضع بيضًا لكنها تُرضِع صغارَها الحديثي الفقس. فما الذي كان سيُسَبِّب أو يُشَجِّع تطورَ عمليةِ الولادةِ (ولادة أطفال أحياء، صفة الوَلودية)؟

لا يوجد شيء غير معتاد بخصوص الولادة. فقد تطورت العديد من المرات على نحوٍ مستقلٍ في بعض الأسماك والبرمائيات والزواحف، وفي الثدييات. في الحقيقة؛ في كل مجموعة فقارية حيَّة ما عدا الطيورَ. لقد تطورت على نحوٍ مستقلٍ في تسعين مجموعةً مختلفةً على الأقل من السحالي والثعابين، وقد تطورت في بعض أنواع الحشرات أيضًا. لكن كيف ومتى تطورت في خط تحدر الثدييات التطوري؟

وضع البيض مسألة صعبة في ظل صغر حجم الجسد بشكل حَرِجٍ. حيث يجب أن توضَع البيضةُ من خلالِ فتحة حوضية، ويجب أن يكون لبيضةٍ ذات قشرةٍ وذات كمية معقولة من المُحّ [الصفار] حد أدنى مُعيَّن من الحجم لكي تكون حيَّة. التقييدات على الحوض التي تمنع وضع بيضة كبيرة ذات قشرة لن تنطبق على جنينٍ متشكِّلٍ، والذي هو أكثر مرونةً بنيويًّا وفسيولُجيًّا من البيضة. لا يحتاج الجنين إلى صفار بيض ولا إلى قشرة أثناء تنمِّيه الجنينيّ؛ يمكن ضغطه وإقحامه عبر قناةِ ولادةٍ على نحوٍ آمنٍ أكثرَ مما يمكن لبيضة ذات قشرة. وبداخل جسد أم منظِّم لدرجة حرارته، يتنمَّى الجنين في درجة حرارة أكثر انتظامًا مما في عشٍّ. ويكون للجنين النامي إمدادٌ غيرُ محدودٍ من الماء والأُكْسُجِن، وطريقةٌ سهلةٌ للتخلصِ من ثاني أكسيد الكربون CO2 وفضلاتٍ أخرى، وكلٌّ منها مشاكل للجنين بداخل بيضةٍ ذاتِ قشرةٍ. وتوجد احتمالية أقل بكثير للافتراس أو العدوى. وختامًا، لو كانت الرضاعة قد تطورت بالفعل، فإن الصغير لن يحتاج أن يُفصَل عن أو يُحرَم من رعاية وحماية أمِّه، وخاصة إذا كان عاجزًا عند ولادته.

لا تزال الثدييات وحيدة المسلك واضعة البيضِ تعيش حية في العصر الحالي _[في الواقع جنسان فقط: ذو منقار البطة وآكل النمل الشوكي]_ مُثْبِتةً أن الولادة ليست اساسية ضرورية بالنسبة للثدييات، رغم القائمة التي جمعناها وسردناها آنفًا. لكن كل الثدييات الحية الأخرى لديها تكاثر بالولادة. تضمنت الخطوات التطورية الضرورية اللاحقة التحسنَ التدريجيَّ في طرق نقل المواد بين الأم والجنين، وهي بدايات تطور المشيمة [الحبل السُرِّي]. كان أول نشوء للولادة في الثدييات سيكون وفق نمط الثدييات الجِرابية [ذوات الكيس أو الجِراب]، مع أو بدون وجود كيس لاحتواء الصغار، لكن لا يلزَم أنها كانت عملية متخصصة كما في الثدييات الجِرابيّة. إننا لا نعلم متى تطورت في الثدييات عملية الولادة، لكن الأدلة الغير مباشرة تقترح أنها حدثت في العصر الطباشيري.

الثدييات المبكرة

كانت الثدييات المبكرة ضئيلة الأحجام، وإن متحجراتها نادرة ويصعُب جمعُها إلا بتنظيف ونخل كميات ضخمة من الرواسب الطرية. لكن بعد سنواتٍ من الجهود صار لدينا الآن [في متاحف العالم] شظايا من الثدييات المبكرة (في معظمها أسنانٌ) من الكثير من الأماكن من عدة قارّات، بدايةً مما يقرُبُ من التخم الترياسي–الجوارسي. إن المشكلة في الأسنان هي أن هناك أفضليَّات مُعيَّنة في امتلاك أنواع معيَّنة من الأسنان، وقد صار واضحًا أن أنماط الأسنان قد تطورت أكثر من مرة عبر الزمن، مما يؤدي إلى مزيد من الإرباك والتحير في تصنيف الثدييات. إننا نقوم ببساطة بأفضل ما نستطيعه.

ضمن ثدييات [أو ما قبل الثدييات في] العصر الترياسي المتأخر، يحتمَل أن فصيلة Morganucodontidae المورجانيَّات أو الجلامورجانيَّات _والتي سُمِّيَتْ على اسم أحد أجناسها وهو Morganucodon [الكائن ذو الأسنان الشبيهة بالكلبية المعثور عليه في منطقة Glamorgan في ويلز]_ كانت أسلافًا لمعظم المجموعات اللاحقة زمنيًّا. إن جنس Morganucodons[1] الجالامورجانيَّات معروف على نحو جيد تمامًا من خلال متحجرتي هيكلين

---

١ Morganucodon الجلامورجاني أو المورجاني (تعني حرفيًّا أسنان منطقة Glamorgan) هو جنس ذو صفات ثديية mammaliaform مبكر عاش في أثناء العصر الترياسي المتأخر. كان أول ظهور له منذ حوالي ٢٠٥ مليون سنة ماضية. وعلى النقيض من الكثير من الثدييات المبكرة الأخرى، فإن متحجراته تمثله بجودة ووفرة، رغم أنها في أغلب الحالات مواد مفكَّكة. عُثِر على معظم متحجراته في Glamorgan في إقليم ويلز البريطاني وهو النوع Morganucodon watsoni، ولكنْ عُثِر أيضًا على متحجراتٍ له في محافظة ينَّا Yunnan في الصين، وهو النوع Morganucodon oehleri. وفي أجزاء عديدة من أورُبا وأمِرِكا الشمالية. وقد كان حيوانًا صغيرًا أخمصي السير plantigrade [ماش على على باطن القدم وقد مس عقبها الأرض، كالإنسان والرئيسيات والدب والفئران والراكون والقنفذ والكنغر] وكان ذيله طويلًا إلى حدٍّ ما. وكان طول الجمجمة ٢ إلى ٣ سم وكان طول جسده بدون منطقة العجز حوالي ١٠ سم (٤ بوصات). وكان في مظهره العام يبدو كحيوان الزبابة أو الفأر. هناك دليل على أنه كان لديه غدد متخصصة للتهذيب والتنظيف، مما قد يدل على أنه كان _كالثدييات

عظميين شبه كاملين تقريبًا عُثِرَ عليهما في جمهورية جنوب أفريقيا (الصور ١٥– ٦). لقد كانت حيوانات صغيرة الأحجام، ربما بطول حوالي ١٠ سم (٤ بوصات) حتى قاعدة [أس، مخرج] الذيل، وكان الواحد منها يزِنُ حوالي ٢٥ جرامًا فقط، حوالي أوقيَّة [أونَصة= ٢٨ جرامًا]، أشبه بحيوانات الزَباب المعاصرة. لقد كان لديها فكان صغيران لكنهما شرسان وقد كانت على نحوٍ واضحٍ لواحمَ [مفترِسة] صغيرة الحجم، على الأرجح كانت تأكل الحشراتِ والديدان ويرقات الحشرات. لقد كان لها خطوم أطول نسبيًّا وأمخاخٌ أكبر بكثير من ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodonts. تُظْهِرُ متحجراتُ هياكلِها أنها كانت متسلقة وقافزة رشيقة. كانت رقبتها مرنة جدًّا، مثلما في الثدييات الحية، وكان العمود الفقري يمكنه التثنّي إلى أعلى وأسفل بالإضافة إلى التثنّي الجانبي الخاص بالثيرابسيديَّات therapsids.



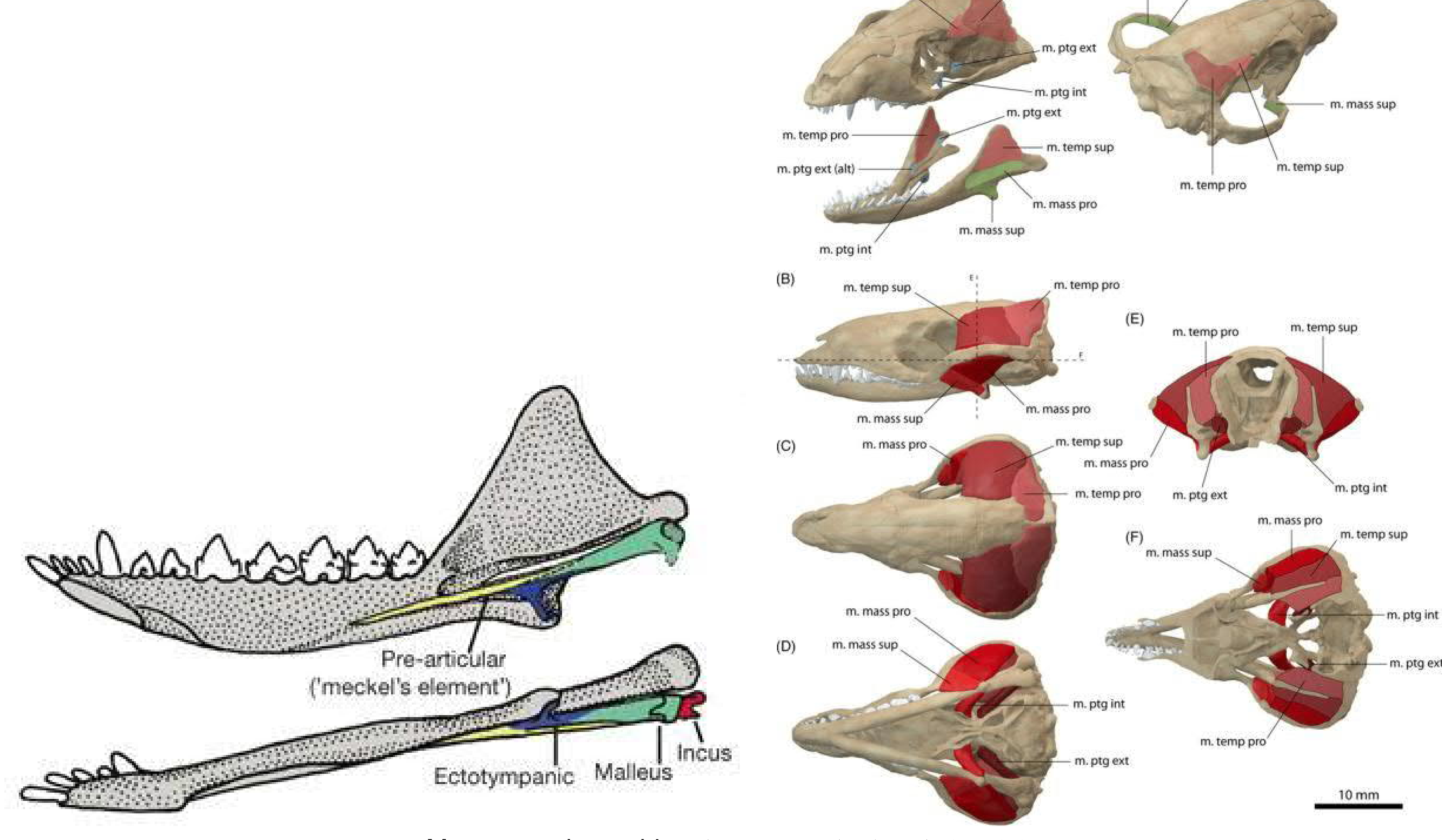




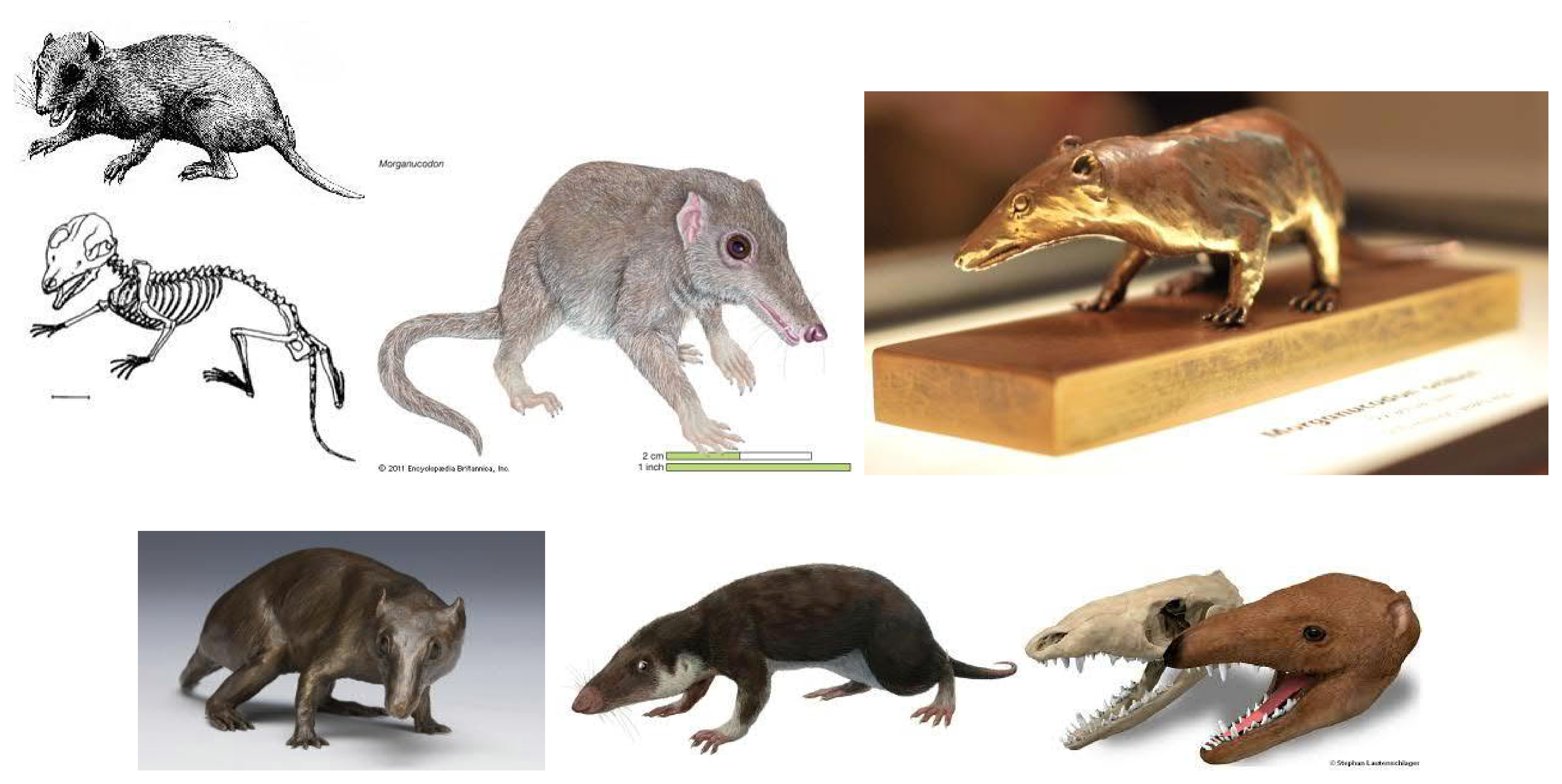


بعض متحجرات Morganucodon [الجلامورجاني أو المورجاني]: جمجمة متحجرة، وهيكل كامل متحجر، وفكان سفليان

المعاصرة_ لديه فرو. وكالثدييات المعاصرة ذوات الحجم المماثل وذات نفس البيئة المفترَضة له فقد كان على الأرجح كائنًا ليليًّا [ينشط ويعتاش ليلًا] وكان يقضي نهاره في جحرٍ. لا يوجد دليل مباشر على هذا النوع من الاعتياش من خلال متحجراته، لكن الكثير من أنواع الأدلة الغير مباشرة تشير إلى حدوث مرحلة متأزمة كعنق الزجاجة عاشت فيها الثدييات المبكرة اعتياشًا ليليًّا (في عصر الديناصورات)، وإن كل الثدييات المعاصرة ذوات الحجم المماثل له لا تزال ليلية. وكذلك فقد كان حفر الجحور شائعًا في ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية والثدييات المبكرة البدائية. فمنطق التصنيف الشجري التطوري يحكم عليه بأنه ليلي وحافر جحور أيضًا، وعثر بجواره على متحجرات نوع من الصنوبريات Hirmeriella، مما يشير إلى أنه عاش في غابة أو بقربها. يبدو أن نظامه الغذائي كان أكل الحشرات وحيوانات صغيرة أخرى، مع تفضيل الفرائس الصلبة كالخنافس. وكمعظم الثدييات آكلة الحشات المعاصرة الحديثة، فقد كان ينمو بسرعة جدًّا إلى الحجم البالغ. وعلى النقيض من أسلافه الثيرابسيديين therapsid، فقد كان يعيش عمرًا قصيرًا على الأرجح مشابه للخاص بمعظم الثدييات الصغار الأحجام في العصر الحالي. أما بيضه فكان على الأرجح صغيرًا وجلديًّا، وهي سمة لا تزال توجد اليوم في الثدييات الوحيدة المسلك الإخراجي [أو الأوَلِيَّة]. وكانت أسنانه تنمو بطريقة ثديوية، حيث كانت الأسنان اللبنية [أو المؤقتة الساقطة] تُستبدَل بأسنان دائمة يُحتفَظ بها خلال باقي حياة الحيوان. تقترح توليفة النمو السريع في أطفاله مع مرحلة انعدام الأسنان لديها في فترة الصغر [حداثة الولادة] بشدة أن أنثى الجلامورجاني أو المورجاني Morganucodon كانت تربّي وتنشّئ صغارَها عن طريق إفراز الحليب. في الواقع، ربما كانت ضمن أبكر الحيوانات التي فعلت ذلك. كان لضروس البالغ سلسلة من الحواف والحدَبات المتلائمة مع بعضها البعض، مما يسمح بمضغ كفؤ. رغم ذلك، فعلى نقيض الوضع في معظم الثدييات اللاحقة، كانت الضروس العلوية والسفلية لا تنطبق على نحو سليم دقيق عندما تتلاقى لأول مرة [بعد بزوغها]، لكن عندما تبلى مع الاستعمال في قبالة بعضها البعض، كانت أشكالها تُعدَّل عن طريق البلى [البري] لتُحْدِثَ تلاؤمًا دقيقًا.

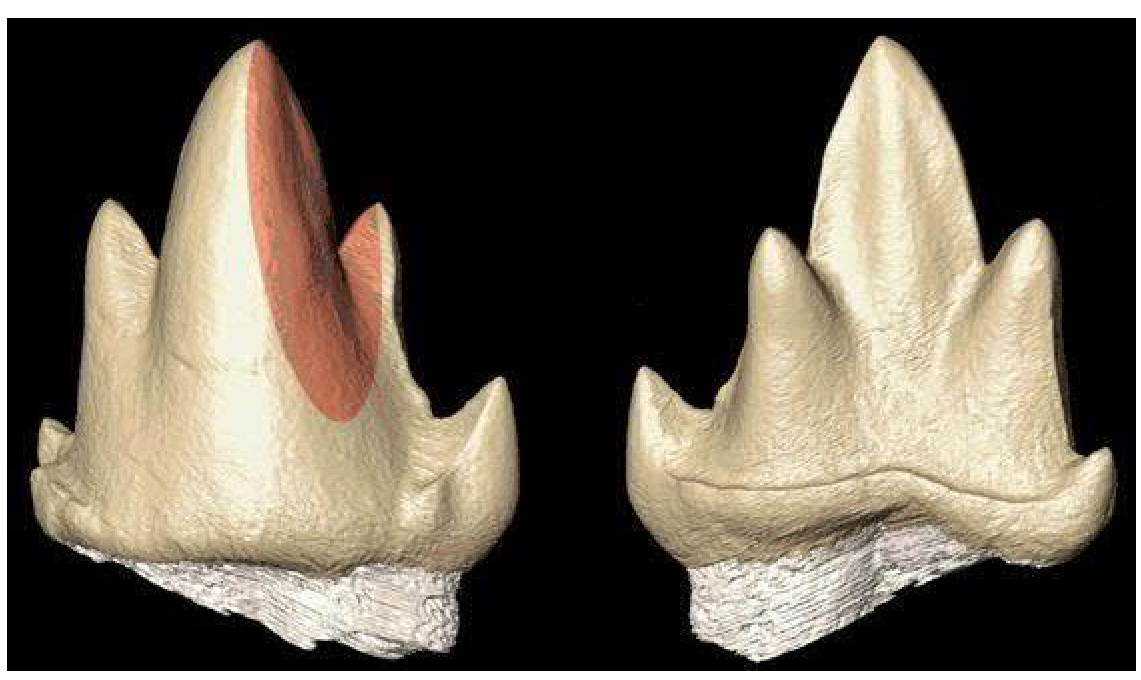
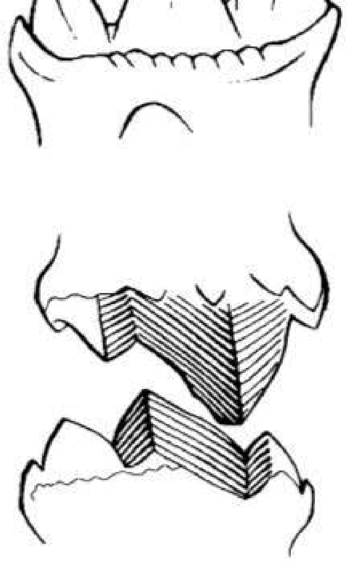


إعادة بناء لجمجة وفك وعضلات فك Morganucodon oehler



بعض إعادات البناء والرسم لـMorganucodon

كان مفصل الفك لا يزال مثل الخاص بالزواحف ذوات الأسنان الكلبية cynodonts المتأخرة زمنيًا. لكن الأسنان كانت متباينة على نحوٍ كاملٍ، وكان للضروس جذور مزدوجة. وكما في معظم الثدييات المعاصرة، كانت الأسنان الأمامية تُستَبْدَل مرةً واحدةً، وكان هناك مجموعة واحدة من الضروس. كان للضروس [الأسنان الطاحنة] ثلاث أطراف مستدِقَّة على خطٍّ واحدٍ، ولذلك يستعمل لفظ triconodont اللاتيني أيْ: سنٌّ ذو ثلاثة مخاريط أو قمم لوصف هذه البُنْيَة. تعمل الضروس ذوات الثلاث قمم عن طريق التقطيع عموديًّا بتلاقيها مع بعضها البعض، العلوية مع السفلية بجوار بعضها البعض (الصورة ١٥ – ٧)، متسبِّبة في قطع مشرشَر متعرِّجٍ مماثل بالضبط للمقص المشرشر في الخياطة وصنع الملابس. هذا فعَّال، وخصوصًا بالنسبة للمواد الرفيعة أو الطريَّة، لكنه يتطلَّب حركة دقيقة من أعلى إلى أسفل. تطورت الضروس ذوات الثلاثة قمم أو حدبات أكثرَ من مرةٍ، مما يشوِّش ويُرْبِكُ مشهدَ تطور الثدييات المبكرة.

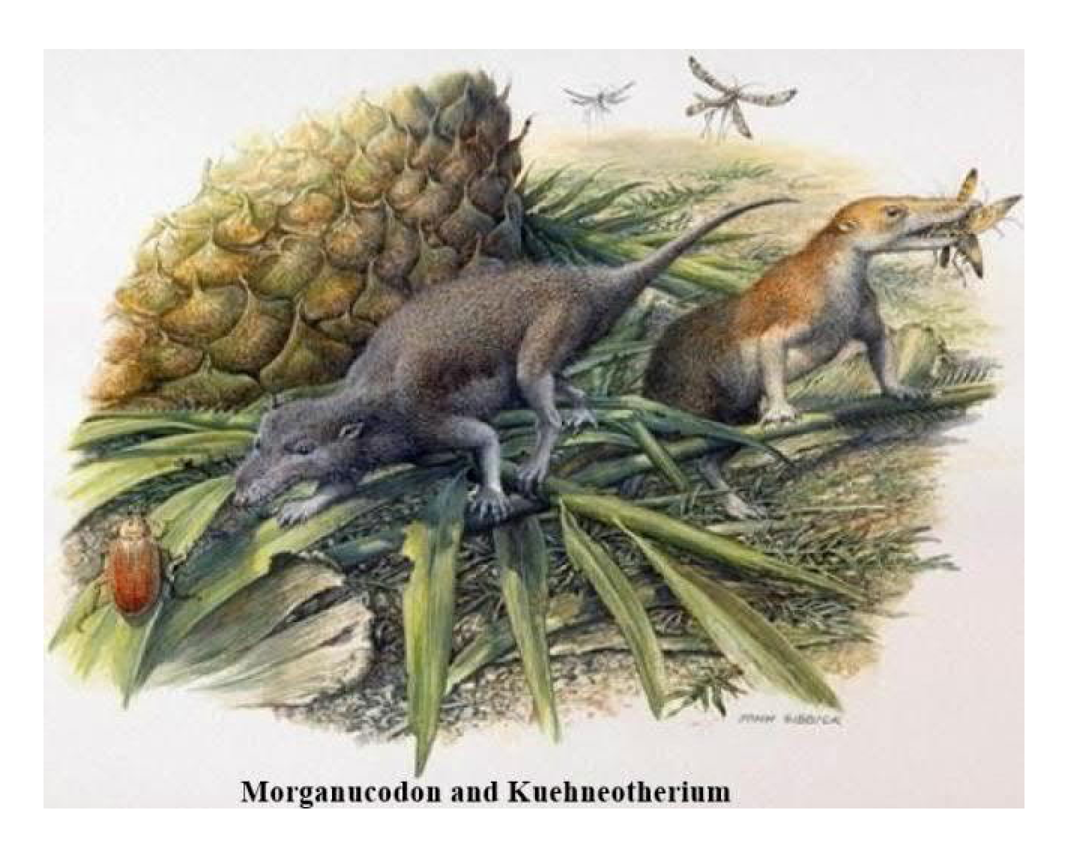



الصورة ١٥– ٧ كان للضروس ذوات الثلاث مخاريط triconodont ثلاث أطراف مستدقَّة على صف واحد. وكان لها حركة أشبه بالمقص المشرشر.

يبدو أن الجنس Kuehneotherium[١] [حيوان كوهين] من العصر الترياسي المتأخر أقربَ إلى الثدييات الحية المعاصرة من Morganucodon [الجلامورجاني]، لكن يصعُب إثباتُ ذلكَ لأننا لا نملك سوى فكوكه وأسنانه. تظل متحجرات متشظِّية أخرى محيِّرةً. إحدى المتحجرات الضئيلة الحجم من العصر الجوارسي المبكر في الصين _تُدْعَى Hadrocodium[2] [ذو الرأس الثقيل دلالة على كبر جوف قحف جمجمته]_ لها بعض السمات المتطورة المتقدمة الخاصة بالجمجمة، رغم انتمائه إلى عصر مبكر. إنه أقرب زاحف ثيرابسيدي الرتبة ذي أسنان شبيهة بالكلبية من جهة الرتبة الفرعية من ذوات الصفات الثديية من جهة الفرع التطوري مكتشَف حتى الآن إلى خط الأسلاف المباشرين للثدييات الحية. كل ثدييات العصر الجوارسي كانت صغيرة الأحجام وعلى الأرجح ليلية. لقد كانت لاحِمة أو آكلة للحشرات أو ربما قارتة [تأكل اللحوم والنباتات]؛ فقليلٌ منها فقط كان له أسنان تستطيع مضغ النباتات الليفية.

١ كان Kuehneotherium [حيوان كوهين] جنسًا ذا صفات ثديية mammaliaform مبكرًا عاش أثناء العصر الترياسي المتأخر ويتميز بنمط على شكل مثلث معكوس لحدبات الضروس. رغم أن عددًا كبيرًا من متحجراته قد عُثِر عليه، لكنها تقتصر على الأسنان وشظايا أسنان وشظايا من الفك السفلي. إعادات بنائه التخمينية التي قامت على المقارنة بين فك Kuehneotherium مع الثدييات الأخرى تدل على أنه كان بحجم حيوان الزبَاب المعاصر بوزن ٤ إلى ٥, ٥ جرام للبالغ. يُعتقد أن Kuehneotherium كان آكلاً للحشرات وأنه استطاع التهام الحشرات الطرية الأجساد فقط كالعثِّ. كانت أسنانه مشكَّلة للتقطيع عموديًا ولم تستطع سحق فرائس أكثر صلابةً. لقد عاشت بجوار أحد الثدييات المبكرة الأخرى وهو Morganucodon [الجلامورجاني] الذي كان له أسنان كانت تستطيع سحق حشرات أكثر صلابةً كالخنافس. يوضح هذا الفارق في النظام الغذائي أن الثدييات المبكرة تكيفت واستنوعت بحيث يكون لها فراغات [أو كُوَّات أو أدوار أو طرق اعتياش على] تغذية مستقلة منفصلة بحيث لم يتنافسوا ولا يتصارعوا على الطعام. أما متحجراته فعُثِر عليها في محجر Pontalun Quarry في جنوب ويلز في جيب صدعي وحيد، وقد وُجِدَت اللقايا في حجر جيري من العصر الترياسي. وعثر على متحجرات أخرى له في التكوينات الصخرية من العصر الجوارسي المبكر في بريطانيا، ومن صخور العصر الترياسي المتأخر في فرانس بمنطقة ميناء القديس نيكُلَسْ أو نيكولا Saint-Nicolas-de-Porte ولُكْسِمْبُرْج وجرينلاند.

٢ Hadrocodium كائن منقرض ذو صفات ثديية عاش خلال العصر الجوارسي المبكر، منذ حوالي ١٩٥ مليون عام في حوض Lufeng basin الرسوبي فيما هو اليوم إقليم يَنَّان Yunnan في جنوبي شرق الصين. متحجرته تخص كائنًا شبيهًا بشكل الفأر ظاهريًّا وبحجم دبوس الورق، واكتُشِفَت عام ١٩٨٥م، وقد كان لحجم مخه الكبير وبنية أذنه المتقدمة تأثير عظيم على فهم المراحل الأقدم لتطور الثدييات، حيث كانت تلك الصفات الثديية لا يمكن تتبعها إلى ما هو أقدم من حوالي ١٥٠ مليون سنة. لا يُعرَف Hadrocodium إلا من جمجمة متحجرة، لكن قُدِّرَ طول جسده بأنه كان ٢, ٣ سم (٣, ١ بوصة) ووزن حوالي ٢ جرام، مما يحكم عليه بأنه أحد أصغر الثدييات حجمًا على مر التاريخ. ربما كان Hadrocodium أول حيوان يمتلك أذنًا وسطى ثديية كاملة. إنه أقدم مثال معروف لصفات عديدة تمتلكها الثدييات فقط، بما في ذلك بنية الأذن الوسطى المميزة للثدييات الحديثة المعاصرة وتجويف مخ كبير نسبيًّا. لقد كانت هذه السمات تُعتبَر قبل ذلك مقتصرة على الثدييات المصنفة على أساس مفهوم المجموعة الإكليلية [الأغصان الناتجة الأقرب إلى خارج الشجرة]، التي بزغت في منتصف العصر الجوارسي، ويدل اكتشاف Hadrocodium على أن هذه السمات ظهرت أبكر بـ ٤٥ مليون سنة عما كان يُعتقَد سابقًا. لم تُحسَم مسألة ما إذا كان Hadrocodium حار الدماء أم باردها، لكن سماته الدالة على اعتياش ليلي الواضحة يبدو أنها تضعه في المجموعة ذاتية تنظيم درجة حرارة الجسد.

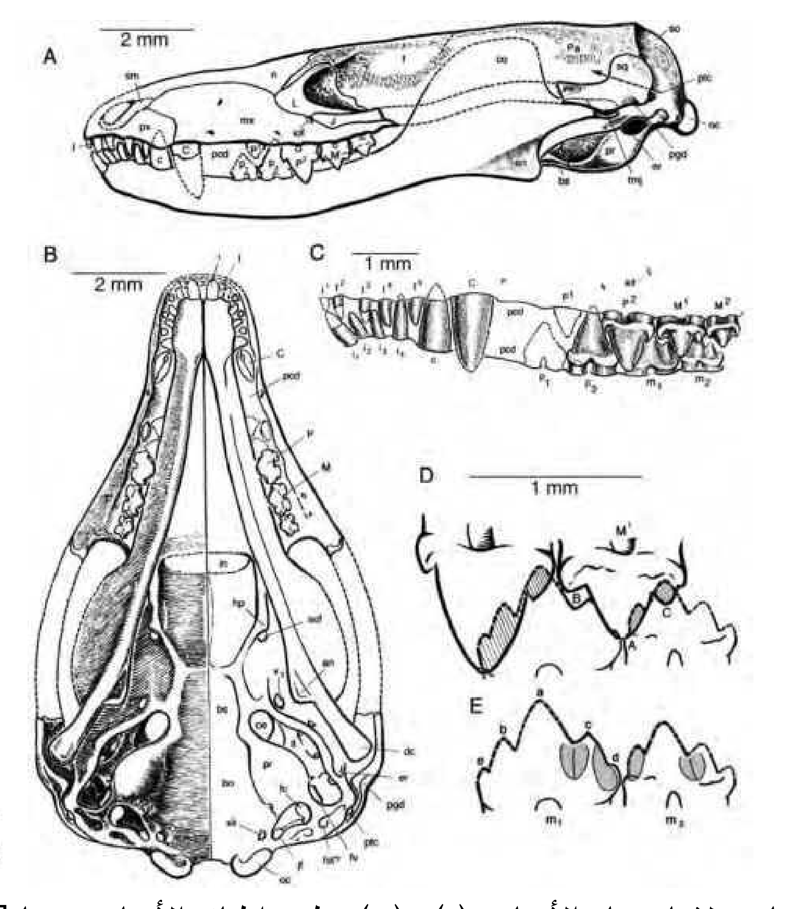






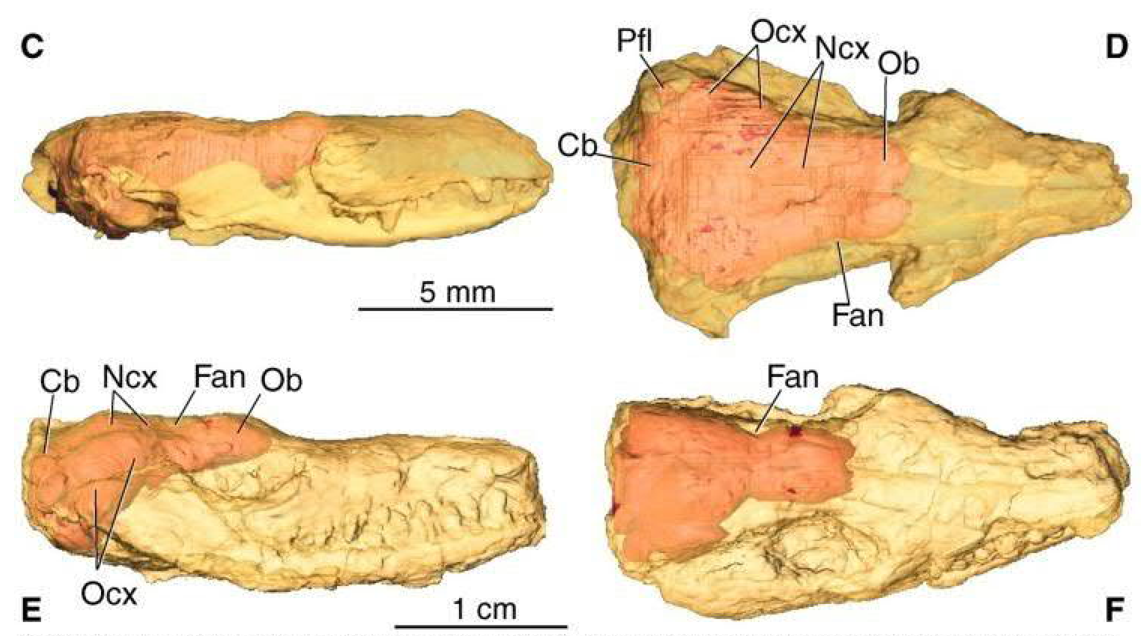
متحجرات Hadrocodium [ذي الرأس الثقيل دلالة على كبر جوف قحف جمجمته بالنسبة لحجم جسده]

Fig. 4.6. *Hadrocodium* skull and teeth: (A, B) restored skull; (C) lateral view of restored dentition; (D, E) occlusion and wear facets. (From Luo, Crompton, and Sun, 2001.)





(أ) و(ب) إعادة بناء لجمجمة Hadrocodium (ج) منظر جانبي لإعادة بناء الأسنان. (د) و(هـ) مظهر إطباق الأسنان وبريها [مع الاستعمال].



HRXCT images of (C and D) Hadrocodium, and (E and F) Morganucodon, in lateral and dorsal views, with rendered translucent [(C) to (F)] to show endocasts. Cb, cerebellum; Et, endoturbinals 1 to 5; Fan, annular fissure; Iam, internal acoustic meatus; II, optic nerve; Mt, maxilloturbinal; Ncx, neocortex; Nt, nasoturbinal; Ob, olfactory bulb; Ocx, olfactory (pyriform) cortex; Pfl, paraflocculus; Rf, rhinal fissure; and Sv, venous sinus

Hadrocodium and Morganucodon

الثدييات الوحشية Therians والثدييات الغير وحشية

الثلاثة فروع التطورية الحية الخاصة بالثدييات هي الثدييات الوحيدة المسلك الأَوَلِيَّة والجِرابيّات والمشيميَّات. الفارق السهل بينهم في العصر الحالي تكاثريٌّ. فوحيدات المسلك تضع بيضًا وتُرضِع صغارَها، بينما تقوم إناث الجِرابيَّات والمشيميَّات بالولادة. تُصنَّف الجِرابيَّات والمشيميَّات على أنها ثدييات وحشية [أو بالترجمة العربية الشائعة وحشيَّات therian]، وهي الـ Theria الوحشيَّات. لكنْ كيف نتعامل مع الفروع التطورية المنقرضة التي لا تعطينا سوى إشارات ضئيلة عن أنظمة تكاثرها؟

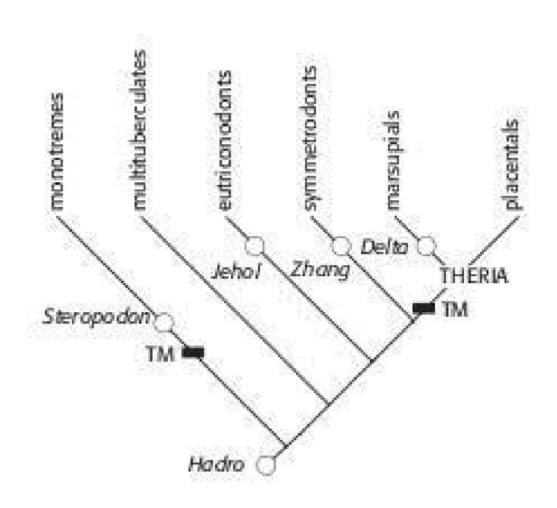
حتى وقت قريب مؤخرًا، كانت هناك سمة أخرى مميِّزة للثدييات الوحشية عن الثدييات الوحيدة المسلك الإخراجي؛ فالثدييات الوحشية لديها ضروس ذوات ثلاث قمم أو حدبات tribosphenic. إنها ضروس معقَّدة الشكل وتستطيع القيام بمجموعة متنوعة على نحو عريض من الوظائف عندما تتعاون الأسنان العلوية والسفلية. لقد تطورت من أسنان أبسط بإضافة أسطح جديدة والتي تقطع الأشياء بجوار بعضها البعض أثناء حركات الفك إلى الجانبين في حركةِ مضغٍ. الضروس ذوات الثلاث حدبات مناسبة تمامًا على نحو خاص للخرق والتقطيع، وعلى الأخص للطحن، وتُلائِم على نحوٍ رائع الثديياتِ ذواتِ النظام الغذائي القائم على أكل الحشرات والبذور وحبات الجوز ذوات القيمة البروتينية العالية. لا تمتلك الثدييات الوحيدة المسلك الإخراجي [الأَوَلِيَّة] المعاصرة ضروسًا ثلاثية الحدبات.

لقد اتضح حاليًّا أن نوع الضروس ذوات الثلاث حدبات فعَّال للغاية لدرجة أن تلك النوعية من الأسنان تطورت على نحو مستقل في مجموعتين مختلفتين. لقد تطور في أحد أسلاف الثدييات الوحيدة المسلك الإخراجي _وهو ثديي صغير الحجم يُدعى Asfaltomylos _ عاش في أمِركا الجنوبية ضروسٌ ذوات نمط ثلاثي الحدبات (وقد كانت أمركا الجنوبية جزءًا من قارة جُندوانا القديمة)، في زمن مبكر في العصر الجوارسي. على خلاف ذلك، لم يتطور في ثدييات نصف الكرة الشمالي (قارة لوراسيا القديمة) على نحو واضح ضروسٌ ثلاثية الحدبات حتى العصر الطباشيري، عندما تطورت في أحد أسلاف الثدييات الوحشيَّة (الوحشيَّات) المعاصرة الحيَّة.



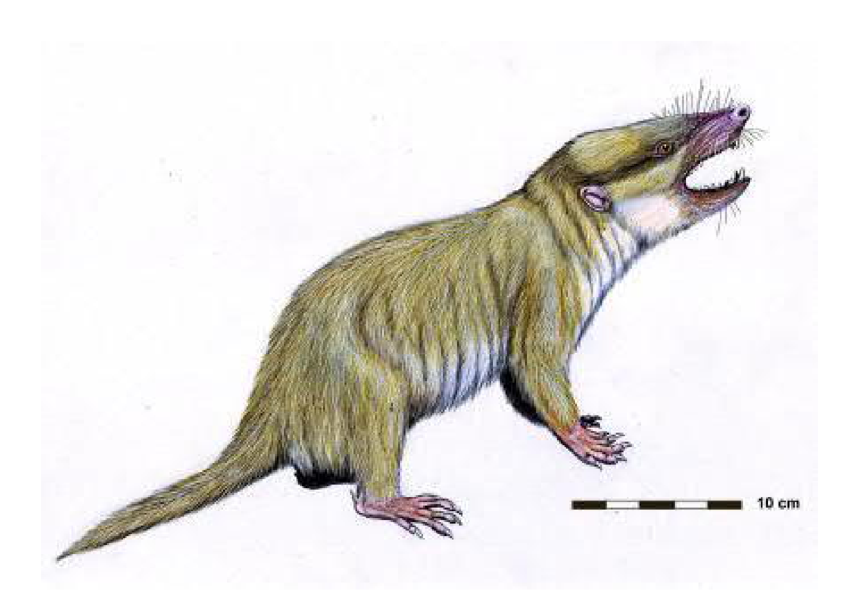
Asfaltomylos [من تكوين Asfalto الجغرافي في إقليم Chubut في باتاجونيا Patagonia]

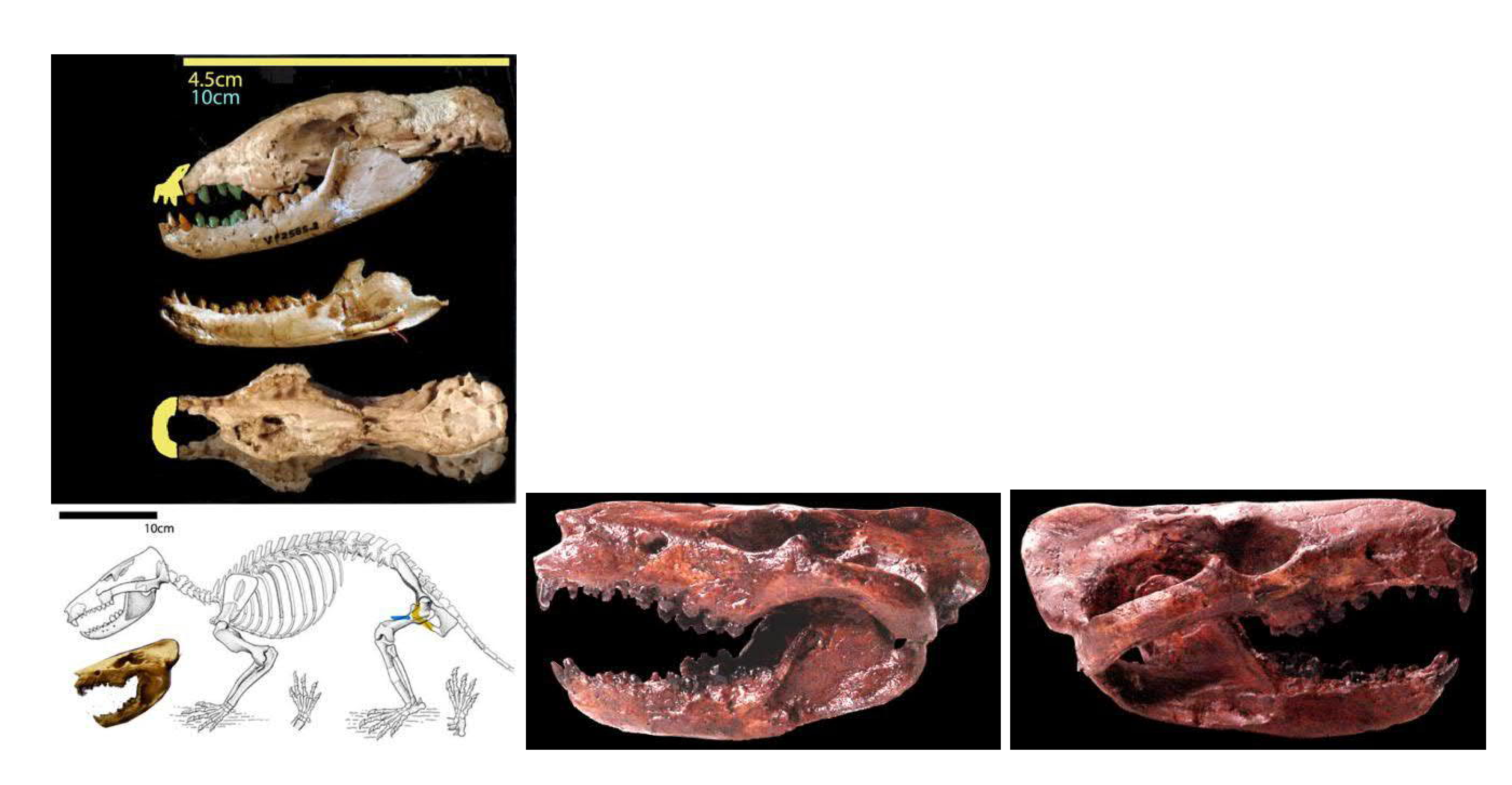
كانت الفروع التطورية المنقرضة الأخرى الخاصة بالثدييات الشمالية جزءًا من التشعب اللوراسيوي للثدييات، ولم تمتلك ضروسًا ثلاثية الحدبات tribosphenic. لقد كانت ثدييات لكنها لم تكن من رتبة الوحشيَّات. تضمنت هذه الفروع التطورية ذوات الضروس ذات الثلاث مخاريط المتطورة triconodonts (أو ذوات الضروس ذات الثلاث مخاريط الحقيقية eutriconodonts)، وذوات الأسنان التي تبدو مثلثية الشكل عند النظر لها من الأعلى symmetrodonts والمتميزة بعدم وجود مُخَيْلِب talonid (المخيلب: الشرفة الخلفية في الرحى السفلية) متطور جيدًا، ومتعددات الحديبات السنية multituberculates. نستطيع أن نرسم مخططًا تطوريًا مؤقتًا تجريبيًا يرينا هذه التفاصيلَ الجديدة من الأدلة (المخطط التطوري ١٥– ٨).



المخطط التطوري ١٥– ٨ أحد الافتراضات بصدد تطور المجموعات الثديية المتقدمة المتطورة. TM ترمز إلى حدثي التطور المستقلين للضروس ثلاثية الحدبات. Hadro هو Hadrocodium [ذو الرأس الكبير بالنسبة لحجم جسده] من العصر الجوارسي في الصين، و Zhang هو Zhangheotherium [حيوان Zhang ، سمي باسمه تكريمًا للرجل الذي جمع وقدم عينته لمعهد متحجرات الفقاريات والبشرانيين القدماء أو علم الأنثروبُلُجي القديم، في الصين]، و Jehol هو Jeholodens [حيوان منطقة جيهول، Jehol: اسم جغرافي قديم للقسم الغربي من إقليم لياوْنِنْج Liaoning الصيني]، كلاهما من العصر الطباشيري المبكر [الأدنى] في الصين، و Delta هو Deltatheridium [حيوان الدلتا في منجوليا [منغوليا]، الدلتا: أرض مثلثة الشكل تقع على مصب نهر وتتقاطع مع أفرعه]، وهو ثديي جِرابيٌّ أَوَّلِي من العصر الطباشيري في منجوليا. فرع الثدييات الوحيدة المسلك الإخراجي monotremes هو فرع جُنْدواني [تطور وعاش في قارة جُندوانا]، أما كل الفروع الأخرى للثدييات فلوراسيوية [تطورت وعاشت في قارة لوراسيا القديمة]، وفقًا لمعارفنا الحالية.

كانت eutriconodonts الثدييات ذوات الضروس الثلاثية المخاريط المتقدمة ناجحة حتى العصر الطباشيري المبكر. جاءت متحجرتان محفوظتان جيدًا من الثدييات ذوات الضروس الثلاثية المخاريط المتطورة من نفس الصخور الشهيرة في الصين التي اكتُشِفَتْ فيها أيضًا الديناصورات المُرَيَّشة (راجع الفصل ١٢)، والكثير من الطيور المبكرة (راجع الفصل ١٣) وأقدم النباتات المُزْهِرة (الفصل ١٤). تطور Gobiconodon [الحيوان الثديي ذو الضروس ثلاثية المخاريط المتطور المعثور عليه في تكوين جوبي Bayan Gobi Formation في الصين] إلى حجم حيوان البوسوم [الأبوسوم]. أما Jeholodens [ثديي منطقة جيهو] فكان أصغر حجمًا، وعلى نحو عجيب كان له طرفان خلفيان مفرشَحان لكن له طرفين أماميين منتصبين.



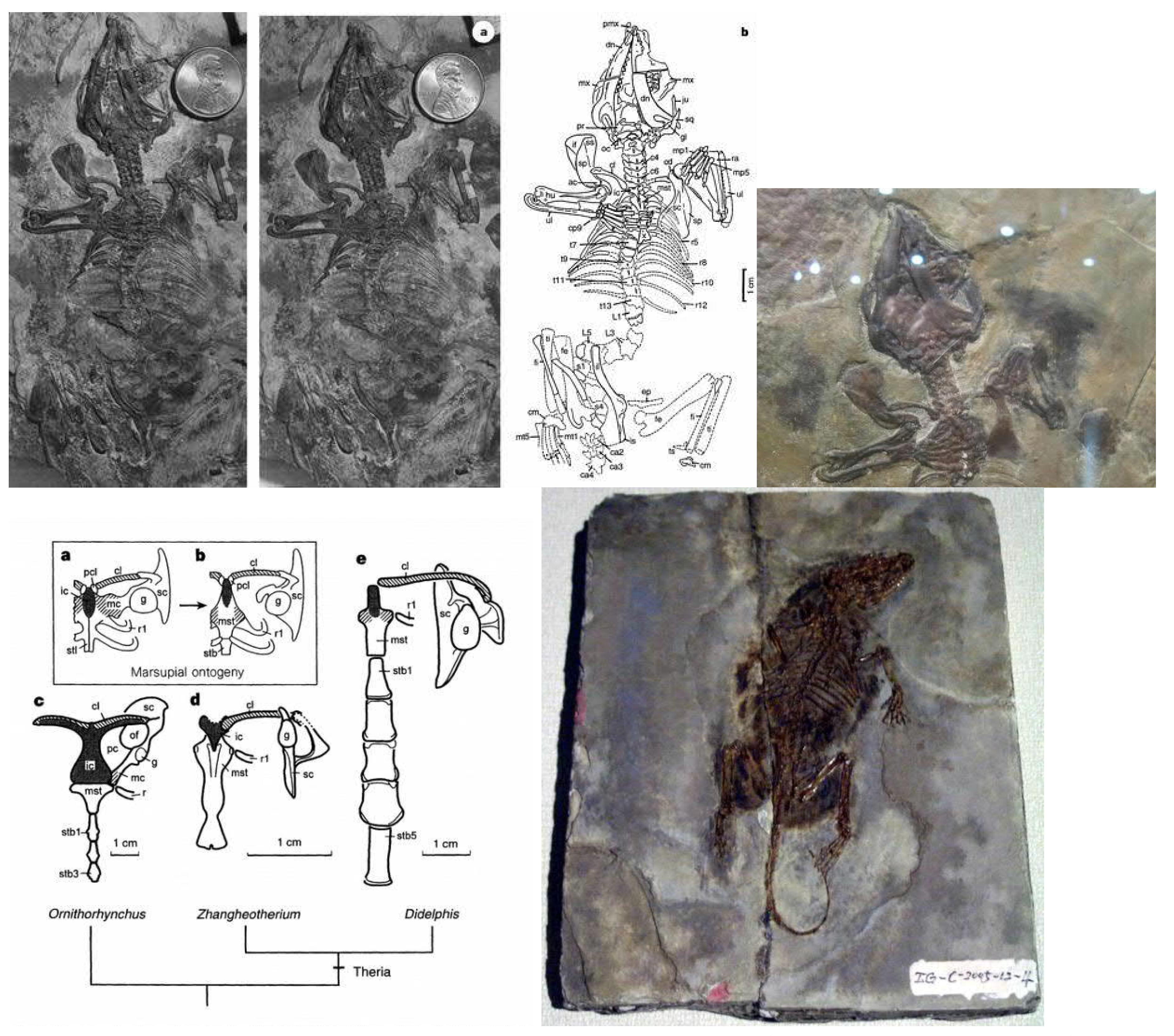


Gobiconodon [الحيوان الثديي ذو الضروس ثلاثية المخاريط المتطور المعثور عليه في تكوين جوبي Bayan Gobi Formation في الصين]



متحجرة Jeholodens jenkinsi [ثديي منطقة جيهول الصينية] في المتحف القومي للطبيعة والعلم في توكيو – اليابان

وكانت Symmetrodonts [ذوات الأسنان التي تبدو مثلثية الشكل عند النظر لها من الأعلى، والمتميزة بعدم وجود مُخَيْلِب talonid (المخيلب: الشرفة الخلفية في الرحى السفلية) متطور جيدًا] ثدييات من العصر الجوارسي والطباشيري. أول ثديي ذي أسنان مثلثية الشكل Symmetrodont كامل معروف _وهو Zhangheotherium [حيوان Zhang]_ أيضًا من العصر الطباشيري الأدنى [المبكر] في الصين، كان طوله بضع بوصات فقط. كانت بنية أذنه بدائية، وكان له طرفان أماميان متفرشحان، رغم أن مفصل كتفه كان قد بدأ في إظهار سمات متقدمة متطورة. إن Symmetrodonts أقرب إلى الثدييات الوحشية therians من ذوات الضروس متعددة الحدبات multituberculates.



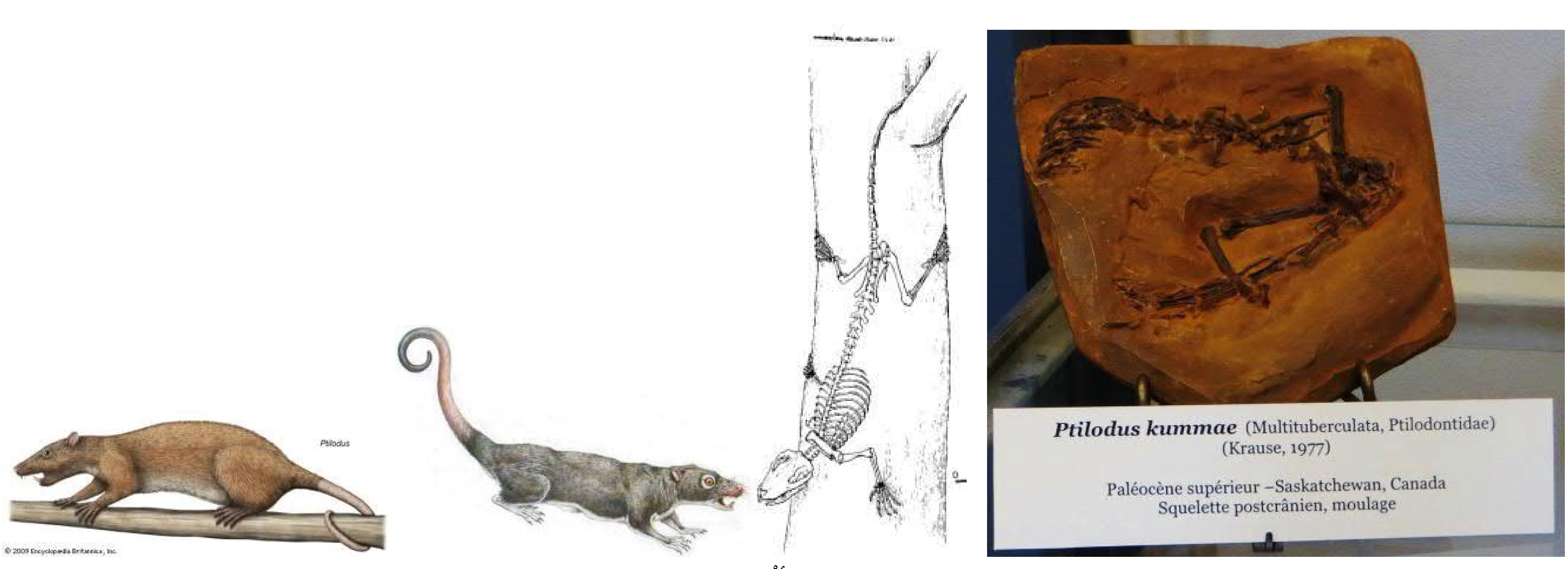
متحجرتان (الثانية منهما في متحف العلم بهونج كونج) لـ Zhangheotherium [حيوان Zhang ، سمي باسمه تكريمًا للرجل الذي جمع وقدم عينته لمعهد متحجرات الفقاريات والبشرانيين القدماء أو علم الأنثروبُلُجي القديم، في الصين]، ومقارنة الحزام الصدري الخاص به مع الخاص بالثدييات المعاصرة.

وكانت multituberculates الثدييات ذوات الضروس المتعددة الحدبات ثدييات صغيرة الأحجام تطور فيها أسنان شبيهة بأسنان القوارض ظاهريًا، وكانت ناجحةً في العصر الجوارسي والطباشيري ودهر الحياة الحديثة المبكر. كثيرًا ما يمثِّلون أكثرَ من نصف الثدييات في متحجرات مجموعات مستعمَرات الحياة الحيوانية في العصر الطباشيري المتأخر. لقد نجَوْا من الانقراض الكبير الجماعي عند نهاية العصر الطباشيري ووصلوا إلى أوج تنوعهم في العصر الباليوسينيِّ، قبل أن تحل محلهم الثدييات الحديثة، وخاصة القوارضَ الحقيقية. تُدعى الثدييات ذوات الضروس متعددة الحدبات multituberculates أحيانًا بـ "قوارض دهر الحياة الوسطى"، لكنْ ربما لا تَسهُل إعادة بناء وتصور إيكولُجِيَّتِهم [طرق اعتياشهم].

كانت الأسنان القواطع الخاصة بالثدييات ذوات الضروس متعددة الحدبات متخصِّصةً في العادة للإمساك والثَّقْب [أو الخَرْق]، وليس للقضم وللقرض، لكنْ كان هناك ستة منها في الفك العلوي واثنتان فقط في السفلي. أما الأسنان الضواحك premolars [التي أمام الضروس الطاحنة] الكبيرة الحادة الحوافِّ جدًّا فكانت متطوِّرةً للإمساك والتقطيع، بينما كانت الضروس الطواحن أسنانًا طاحنة. يبدو ذلك النظام ملائمًا على نحو جيد لقص ومضغ النباتات بحركة فك إلى الخلف والأمام (الصورة ١٥– ٩). رغم أن تشعب ذوات الضروس المتعددة الحدبات تزامنَ مع النهضة أو الازدهار العام للنباتات المُزْهِرة، فقد كانت الكثير منها قارتة [أكلت النباتات واللحوم والحشرات] على الأرجح، مثل الفئران وليس مثل قوارض خنازير جينيا [غينيا]. يمكن فهم الأشكال النوعية على نحوٍ أكثر دقة. فبعض القواطع كانت دائمة النمو طوال الحياة وتشحذ نفسها [من خلال الاحتكاك]، ومتطورة جيدًا للقضم. (ربما لم تتطور الأسنان القاضمة القارضة لمضغ الجوز والبذور. بل لشق الخشب للوصول إلى الحشرات والحصول عليها. وكان لبعض ذوات الضروس المتعددة الحدبات الأخرى

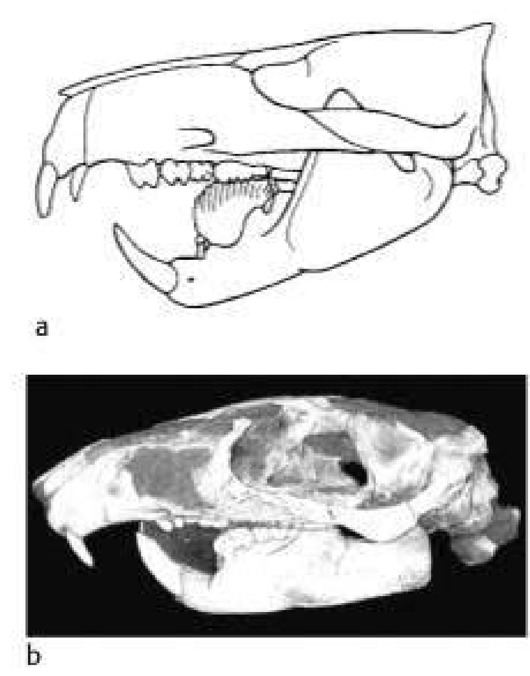
قواطع طويلة رفيعة سيفية الشكل، كالتي لدى آكلات الحشرات الحديثة المعاصرة والتي تستعملها لخوزقة وخرق الحشرات. بينما استعملت أنواعٌ أخرى على الأرجح الضواحك القاطعة والضروس الساحقة لأكل الفواكه أو البذور.

تراوُح أحجام أجسادهم ما بين حجم الفأر إلى حجم الأرنب يدل على تنوع إيكولُجي [أيْ: في طرق الاعتياش] واسع جدًّا فيما بين ذوات الضروس المتعددة الحدبات multituberculates. كانت بعض الأشكال [الأنواع] المتأخرة من دهر الحياة الحديثة المبكر قاطنةً للأشجار على نحو واضح. كان لـ Pitlodus [الثديي المتسلق الأشجار ذي الذيل القادر على الإمساك بالأشياء] ذيل قادر على الإمساك بالأشياء وقدمان خلفيتان شبيهتان بالخاصتين بالسنجاب كانتا يمكنهما الاستدارة باتجاه الخلف للتسلق نزولًا إلى الأسفل (الصورة ١٥-٩).

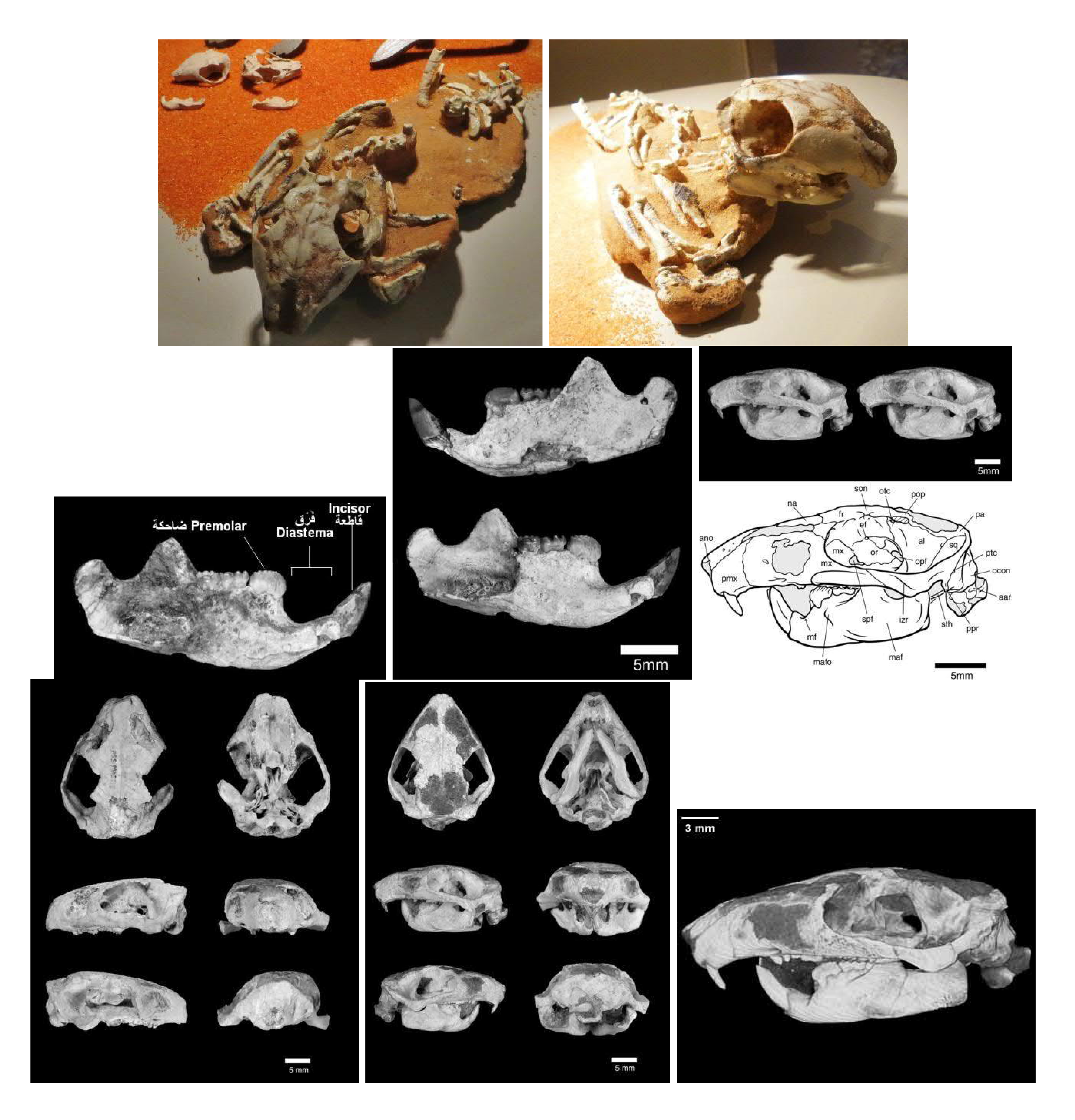


الصورة ١٥– ٩ متحجرة Pitlodus في متحف جامعة ألْبِرْتا Alberta University في كَنَدا، وإعادات بناء له

إن Kryptobataar أو Gobiaatar, Gobibaatar [يعني اسمه البطل الخفي والاسم الآخر معناه بطل تكوين جوبي الصيني] _من العصر الطباشيري المتأخر في منجوليا (الصورة ١٥– ٩) ثديي ذو ضروس متعددة الحدبات مهم لأننا نستطيع أن نقول بتأكدٍ أن إناثه كانت تلد. لقد كان لها حوض ضيق صلب عاجز عن الاتساع خلال الولادة. بالتالي فإن قناة الولادة كانت بسعة ٣ إلى ٤ مليمتر فقط على أقصى تقدير. لم تكن تستطيع إناثه وضع أي بيض ذي حجم معقول، لكنها كانت تستطيع حمل جنين صغير جدًّا (إن الثديي الجِرابي الحديث الولادة يزن جرامًا واحدًا فقط). [وكان Kryptobataar ثدييًا وثَّابًا شبيهًا ظاهريًّا بالجربوع. كان طول جمجمته حوالي ٣ سم، وكانت أسنانه الأمامية حادة على نحو مثير للإعجاب ولا تشبه الخاصة بالكائنات المقتصرة على أكل النباتات].



الصورة ١٥– ١٠ جمجمتا نوعين من الثدييات ذوات الضروس المتعددة الحدبات: (أ) Ptilodus من العصر الباليوسيني في أمِرِكا الشمالية. (ب) أشعة مقطعية كمبيوترية على متحجرة لجمجمة Kryptobataar [يعني اسمه البطل الخفيّ] وهو أصغر حجمًا وأقدم زمنًا، فهو من العصر الطباشيري في منجوليا، ومن منجوليا الداخلية الصينية. كان طول جمجمته حوالي ٣ سم فقط.



متحجرات أخرى وصور أشعة مقطعية أخرى لجمجمة Kryptobataar وفكه السفلي

الثدييات الوحشية therian

رسميًّا، تتضمن الثدييات الوحشية: الوحشيات البَعْدِية أو فوق الوحشيات metatherians والوحشيات الحقيقية eutherians. تتألف فوق الوحشيَّات من السلف المشترك لكل الثدييَّات الجِرابِيَّة الحيَّة وكل متحدريه، وتتألف الوحشيات الحقيقية أو المتطورة من السلف المشترك للثدييَّات المشيمية وكل متحدريه.

لقد كانت الثدييات المبكرة تتكاثر على الأرجح بوضع صغار عاجزين، حالما تطورت إلى ما بعد مرحلة الثدييات أحادية المسلك الإخراجي الأَوَلِيَّة الخاصة بوضع البيض. لقد حدث التباعد التطوري للثدييات إلى فرعي الجِرابِيَّات والمشيميَّات المستقلين على الأرجح بحلول العصر الطباشيري المبكر. إن كل طريقة من طريقتي التكاثر تحل بعض مشاكل طريقة الحياة الثديية بطريقتها الخاصة بها. إن طريقتي التكاثر الجِرابيَّة والمشيميَّة متمايزتان تمامًا حاليًّا،

لكنهما تطوَّرَتا كلاهما على الأرجح من وضعٍ كنا سنعرِّفه بأنه بسيط لكنه جِرابيٌّ إلى حدٍّ كبير. رغم ما قيل آنفًا، فإنه يستحيل في العادة استنتاج طريقة تكاثر أي ثديي مُحدَّد من العصر الطباشيري، وخصوصًا عندما تكون منطقة الحوض الخاصة بمتحجرته غير محفوظة على نحو جيد.

حتى العصر الحالي يزن أكثر من ٩٠% من أنواع الثدييات أقل من ٥ كجم (١١ رطلًا) للبالغين. تلدُ كلُّ إناثِ الثديياتِ الصغارِ الأحجامِ صغارًا ضئيلين عاجزين، وهذا على الأرجح لأنها [الأمهات] لا تمتلك حجم جسد كافٍ لإيداع وتوفير كل المتطلبات لصغارهم لكي يولَدوا معتمِدين مستقلين على أنفسهم في طريقة الحياة الثديِيَّة. يكون رُضَّع الثديياتِ باردي الدماء في البدء ومعتمِدين بالمطلَق وتمامًا على العناية الوالدِيَّة. تستطيع الثديياتُ ذوات الأحجام الكبيرة أن تتلاءم مع وتلد نسلًا أكبر حجمًا وأكثر كفاءةً. ربما يكون هذا العامل السبب الرئيسي لنجاح الثدييات المشيمية الكبيرة الأحجام في مقابل ومقارنةً بالثدييات الجِرابية الكبيرة الأحجام [التي انقرض معظمها]، لكنه لا ينطبق على أنواع المشيميَّات والجِرابيَّات الصغيرة الأحجام.

تحمل الثدييات الجِرابية الحية المعاصرة أجنَّةً محاطةً بغشاء شبيه بغشاء قشرة بيضة طائر أو ثديي وحيد المسلك الإخراجي. أهم مكوناتها هو طبقة الأرومة المُغَذِّية، وهي طبقة خلوية تسمح بالتلامس اللصيق جدًّا بين أنسجة الجنين وأنسجة الأم وفي نفس الوقت تمنع مرور المواد التي كانت ستتسبَّب في جعل جسد الأم يرفض الجسدَ الغريبَ الناميَ بداخلها. يمكن تمرير كمية محدودة فقط من التغذية إلى الجنين النامي من الأم، وبعد زمن حمل معيَّن يصير من الأفضل للجنين المتشكِّل أن يولَدَ لكي يستطيع الحصول على التغذية على نحو أكثر فاعلية بالرضاعة. بالتالي، فإن الثدييات الجِرابية المعاصرة الحية لديها فترة حمل قصيرة تتلوها فترة رضاعة طويلة، في العادة بصغار في كيس [جِراب].

في وقت ما مبكر في العصر الطباشيري، تطور في خط تحدر تطوري خاص بثدييات صغيرة سمة مشتقة متطورة جديدة، وهي المشيمة الحقيقية. إنها بنية متخصصة تُبنَى في الرحم بالتشارك من جانب الجنين والأم. للمشيمة منطقة سطحية كبيرة ضخمة (أكبر بخمسين ضعفًا من مساحة جلد الإنسان الحديث الولادة)، وهي تُستعمَل لإمداد الجنين بالمواد الغذائية والأُكْسُجِن والهرمونات، ولتمرير الفضلات من الجنين إلى الأم للتخلص منها. على نحو جوهري، فإن المشيمة مضخة كبيرة ثنائية الاتجاه تمييزية. إن الأرومة المغذِّية الخاصة بالثدييات المشيمية أكثر فاعليةً بكثيرٍ مما هي عليه في الجِرابيَّات، حيث تُمكِّن المشيمةَ من دعم الجنين النامي لفترةٍ أطولَ بكثيرٍ. وكنتيجةٍ لذلك، استطاعت الثدييات المشيمية تطوير فترة حمل طويلة، لذلك استطاعت أن يكون لها فترة رضاعة [درِّ لبنٍ] أقصر قبل أن يصل الصغارُ إلى مرحلة يكونون فيها مستقلِّين وغير معتمِدين على الأم.

لم يتطوَّر في الجرابِيَّات قط مشيمةً ولا أرومةً مُغَذِّيةً فعَّالةً كفوءً كالخاصتين بالثدييَّات المشيمية، لذلك فهي لا تستطيع إمدادَ الجنين المتشكِّل بكل احتياجاته بعد مرحلة معيَّنةٍ من التنمِّي الجنيني. إن أرومتها المغذِّية تفصل الأمَّ عن الجنين لكنها تسمح فقط بمرور مدى محدود من المواد بينهما. وكنتيجةٍ لذلك، فإن المواليد الجِرابيَّة الحديثة تكون أجنة متشكِّلة والتي يجب أن تكون ذكية وخفيفة الحركة على نحوٍ كافٍ لتصل إلى الحَلَمَات.

لا يعني أيٌّ من هذا أن الجِرابيَّات أدنى من المشيمِيَّات. فالأم الجِرابيَّة التي تمر بأزمة من أزمات الطبيعة تستطيع بسهولة التخلي عن صغارها بينما هم لا يزالون أجنَّةً، لأنها تحملهم فعليًّا كنسلِ بطنٍ خارجيّ. وتكون مستعدةً للتكاثر من جديد سريعًا. في حين أن القليل من المشيميَّات فقط تستطيع إناثُها امتصاصَ أَجِنَّتِها، لكنَّ معظمَ أمهات الثدييات المشيمية يجب أن يحملن صغارَهُنَّ داخليًّا لفترةٍ من الحمل الطويل الزمن نسبيًّا وبالمقارنة، حتى خلال الفيضان أو الجفاف أو الشتاء القاسي، وكثيرًا ما يكون ذلك على حساب تعريض حيواتِهِنَّ الخاصة بهن للخطر. تستطيع الإناث الجِرابيَّة تأجيلَ التنمِّي [أو التطوُّر] الجنيني بعد الانغراس [الازدراع]، بينما أنواع نادرة من المشيميَّات تستطيع إناثُها فعلَ ذلكَ.

يعتمد نظام تكاثر الجِرابيَّات على المرونة في مواجهة بيئة غير قابلة للتنبؤ بها، لذلك فقد يكون أحيانًا أكثرَ تفوقا من نظام المشيميَّات. تحتاج الجِرابيَّات المتوطِّنة الأصلية والمشيميَّات المجلوبة ذوات نفس وزن الجسد في نفس البيئات في أستراليا (كمثال، حيوانات الوَلَب [أو الوَلَبِي أو الكُنَيغرات wallabies] مقارنةً بالأرانب) في المتوسط نفسَ مقدارِ الزمنِ تقريبًا لتنشئة صغارها بنجاحٍ. لا نزال لا نعلم تكلفة الطاقة المقارَنة لكلٍّ من الوسيلتين. إن طريقتي التكاثر المشيميّ والجِرابِيّ _كلٌّ منهما بطريقته_ تقلِّلان أخطارَ تنشئة الصغار ذوي أحجام الأجساد الصغيرة، لكن ليس أيٌّ منهما أكثر كفاءةً وفعاليةً من الأخرى دائمًا.

لاحِظْ أن مرونةَ الجِرابِيَّاتِ في هجر صغارِها مشابِهٌ مع المرونة الخاصة بالطيور، التي قد تهجر عشَّها عند حدوث أزمة أو خطر، حتى لو أن هناك بيضًا أو صغارًا فيه. تهجر طيور مالك الحزين [أو البلشون] واللقلق صغيرًا مُفْرَدًا واحدًا لو أن لديها وقتًا متبقِّيًا كافيًا في السنة لبدء تفريخٍ آخَرَ لبيضٍ والذي يمنحهم فرصةً أكبرَ لتنشئة عدةِ أفراخ. يبدو أن قاعدةً اقتصاديةً تُعرَف بمغالطة أو خطإ شركةِ كونكورد للطيران Concorde Fallacy تحكم الشؤونَ البشرية. فلو أن مقدارًا كبيرًا استُثْمِرَ في مشروعٍ، فبالتالي سوف يُستَثْمَرُ مقدارٌ أكبرُ لكي يُدرَكَ فشلُه عبر الوصول للنهاية المريرة الموجِعة، حتى بعد أن يتضح أن المشروع لن يغطِّي تكلفتَه أبدًا. لقد كانت شركة خطوط طيران طائرةِ كونكورد الأسرع من الصوت حالة واحدة فقط، لكنَّ هناك أخرى كثيرة، كحرب ڤِيِتْنام [وحرب العراق] والمصانع المدارة بالطاقة النووية ومشاريع مواكيك الفضاء.

الحيوانات التي تعيش تحت [وطأة] الانتخاب الطبيعي لا تستطيع تحملَ إهدارِ أيِّ شيءٍ ويجب أن تكون قاسيةً في إيقاف خسائرها حالما ترصُد خسارةً نهائيةً. ينبغي أن يتخلى الأسودُ والفهودُ (وهي تتخلى بالفعل) عن مطارَدة الطريدة حالما يُدرِكون أنهم لا يستطيعون الإمساكَ بالفريسةِ، ويهجر آباءُ الحيوانات البعيدو النظر صغارَهم إن كانوا لا يمكن تنشئتهم بنجاح[١]. من هذه الناحية، فإن نظام تكاثر المشيميَّات المزعوم أنه أكثر تفوقًا يكون من الأكثر احتماليةً أن يؤدِّيَ إلى إنفاق مهدَر أكثرَ مما في وضع البيض في الطيور أو نظام تكاثر الجِرابيَّات على السواء. إنها بوضوح مقامرة أكبر من الأُخْرَيَيْنِ. لكنْ على المدى البعيد، لا بد أن الثلاث طُرُقٍ شبهُ متساويةٍ في نتائجها، لأن الحيوانات المختلفة تمارسها بنجاحٍ كُلَّها.

الاختلافان الآخرانِ بين الجِرابيَّات والمشيميَّات في العصر الحالي هما تنظيم درجة حرارة الأجساد ومُعدَّل التمثيل الغذائي [الأيض]. بمقارنة للكائنات ذوات الأحجام المتماثلة، فإن المشيميات تنظِّم درجةَ حرارتها عند درجات حرارة أعلى قليلًا على نحوٍ ضئيل ولها معدَّلاتُ تمثيلٍ غذائيٍّ أعلى قليلًا على نحوٍ ضئيل. إنها "تعيش بطريقة حياةٍ أسرعَ" كما عبَّر عن الأمر أحد الكُتَّاب العِلميين. هذا لا يؤثِّر بالضرورة على التكاثر، لأن إناث الجِرابيَّات تُزِيدُ معدَّلاتِ تمثيلها الغذائي أثناءَ الحمل والإرضاع إلى معدَّلات المشيميات. إنه صحيحٌ أن المخَّ ينمو أسرعَ في أجنَّة الثدييات المشيمية مما هو في الجِرابيات، وهناك فارق صغير لكنه هام في حجم المخ البالغ، بمقارنة الكائنات ذوات نفس الأحجام من المجموعتين. وأيضًا، فإن المخ النشيط التمثيل الغذائي في المشيميات يستعمِل أُكْسُجِنًا أكثرَ، وهذا يُعلِّل جزئيًّا ميزانيةَ طاقتها الأعلى. مع ذلك، فرغم اختلافات التمثيل الغذائي، فلا يوجد اختلاف نظامي في جانب واحد على الأقل مهم حيويًّا، وهو الحركة. تستطيع الجِرابيَّات بنفس السرعات القصوى تقريبًا الخاصة بالمشيميات المناظِرة لها [في الأحجام وطرق الاعتياش أيْ: الإيكولُجِيَّة]، ولها نفس قوة التحمل.



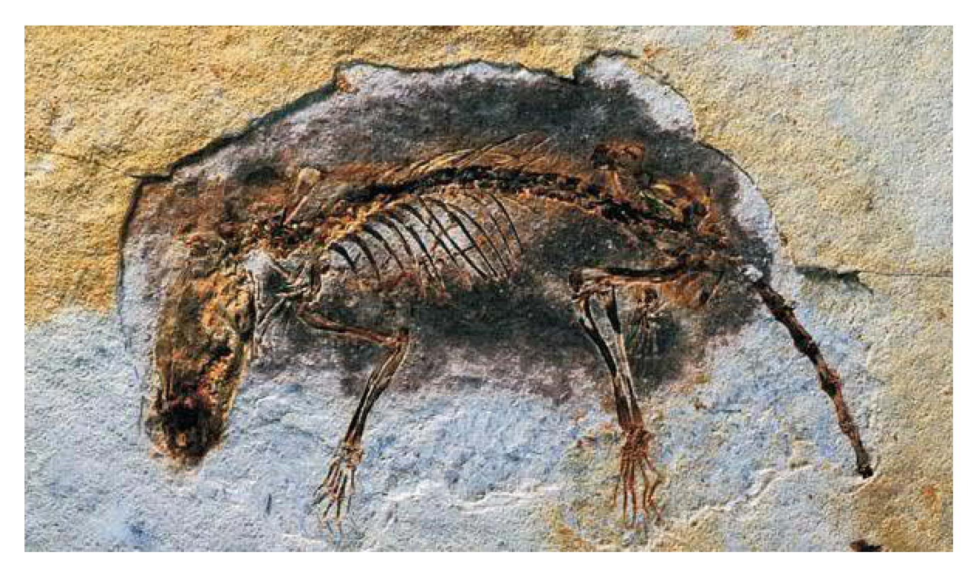

Eomaia [يعني اسم ولود فجر التاريخ]

إن خط التحدُّر التطوري المؤدِّي إلى الجِرابيَّات والمَشيميَّات تباعد [انفصل] في العصر الطباشيري. كان الثديي الضئيل Eomaia [تعني: (النوع ذو) الأمهات الولودة الذي من فجر التاريخ، أو حرفيًّا: ولود فجر التاريخ] من شماليِّ الصينِ من الوحشيَّات الحقيقية eutherian تصنيفيًّا، بمعنى: أنه يقع على خط نسل المشيميَّات التطوري، متمايزًا عن خط نسل الجِرابيَّات التطوري. لقد كان لديه عظم الرَّضفة [العظم المتحرِّك في الركبة] كمثالٍ! لقد كان لم يتطور فيه بعدُ على الأرجح التكاثرُ المشيميُّ. كان لـ Eomaia إيُومايا هيكل عظمي ذو تكيُّفاتٍ للتسلق وسكنى الأشجار، بخلاف الثدييات المبكِّرة الأخرى. لقد كان ضئيلًا، بوزن أقل من ٢٥ جرامًا على الأرجح، أقل من أوقية. لكنه محفوظ كمتحجرة على نحو جيد للغاية لدرجة أننا نستطيع رؤية

---

١ ملحوظة من المترجم: كمثال في القطط الأليفة البلدية لاحظت أن القطة الأم تهجر صغارها ولا ترضعهم وترفضهم إذا أدركت إصابتهم بمرض وراثي عضال نهايته الوفاة، في تلك الحالة التي رأيتها مثلًا كان يتسم بنقص أو توقف النمو وعدم تطور تفتح العينين، على الأرجح مرض تمثيل غذائي وراثي أو شيء ما مشابه.

الشعر عليه [طبعة الشعر في المتحجرة]، وهو أقدم دليل معروف على الشعر في خط تحدر الثدييات التطوري[1]. (كان التنظيم الذاتي للحرارة قد تطور من قَبْلِه، لأن كل الثدييات الحية لديها شعر وتنظيم ذاتي لدرجة حرارة الجسد).



Eomaia [ولود فجر التاريخ] أقدم سلف معروف للمشيميات، ولم تكن فيه الولادة المشيمية على الأرجح، لكن كان له بعض سمات المشيميات التشريحية.

في البدء لم تكن الجِرابيَّات والمشيميَّات مختلفةً بدرجةٍ كبيرةٍ إيكولُجيًّا [أيْ في طرق الاعتياش والأدوار البيئية]. لقد كانت الثدييات "المشيمية" المبكرة في البدء لا تزال تلد صغارًا ضئيلين عاجزين. لقد كان يجب أن ينتظر تطور ولادة الصغار الناضجين مبكرًا _مثل المُهور والعجول والخِشاف [أو الشودان: صغار الظباء، والتي هي كبيرة الأحجام وتستطيع الجري بعد ولادتها_ حتى تصل الثدييات المشيمية في تطورها إلى أحجام كبيرة، وذلك لم يحدث إلى أن صارت الثدييات المشيمية أكثر نجاحًا في انتشارها وتنوُّعِها. يُرجَّح أن الثدييات المشيمية لا يكون لها كبير ميزة أو ليس لها أي ميزة أو أفضلية على الثدييات الجِرابية عندما يكون كلا المجموعتين صغار الأحجام، لكنَّ الصغار الناضجين مبكرًا ليسوا خيارًا متاحًا بالنسبة للجِرابِيَّات، بينما هم خيارٌ متاحٌ للمشيميَّات.

دونية الثدييات في ذلك العصر

لو كانت الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بأسنان الكلاب cynodonts حارَّةَ الدماء [ذاتية تنظيم درجة حرارة الجسد] بدرجة محدودة، لكان تطورها إلى أحجام اصغر سيتسبَّب على نحوٍ تلقائيٍّ تقريبًا في تكيُّفاتٍ مثل العزل الحراري [بتطوير الفرو والشعر] والعناية الأبوية وما شابَهَ. لكن لماذا تطوروا إلى

---

١ هو جنس من الثدييات المنقرضة من ذوات الضروس ثلاثية الحدبات Tribosphenida، اكتُشِفَ في صخورٍ بتكوين Yixian الجيولُجي في إقليم لياونِنْج Liaoning في الصين، ويؤرخ بالعصر الطباشيري الأدنى [أي: المبكر والأوسط] منذ حوالي ١٢٠ مليون عام. طول العينة المتحجرة الوحيدة ١٠ سم وهي كاملة تقريبًا. يُقدَّر وزن جسد الكائن وقت حياته بما بين ٢٠ إلى ٢٥ جرامًا. إنه محفوظ على نحو جيد استثنائي بالنسبة لعينة متحجرة عمرها ١٢٥ مليون سنة تقريبًا. ورغم أن جمجمة المتحجرة مهروسة ومسطحة، فإن أسنانه وعظام أقدامه الضئيلة وغضاريفه وحتى فروه مرئيين في المتحجرة. امتلك إيومايا العديد من السمات المشتركة مع الثدييات المشيمية اللاحقة والتي تميزهم عن الوحشيات البعدية أو فوق الوحشيات أي المجموعة التي تتضمن الثدييات الجرابية الحديثة. هذا يتضمن عظم كعب مكبَّرًا عند أسفل عظم قصبة الساق (أكبر عظمتي الظنبوب)، ومفصلًا بين أول عظمة مشطية metatarsal في القدم والعظم الإسفيني الإنسي entocuneiform والذي هو متوازن إلى الخلف أكثر من المفصل الذي بين ثاني عظمة مشطية والعظم الإسفيني الأوسط mesocuneiform (بينما في فوق الوحشيات يكون هذا المفصلان مستويين أفقيين مع بعضهما)، وسمات عديدة أخرى أيضًا في الفكين والأسنان. رغم ذلك، فلم يكن إيومايا ثدييًّا مشيميًّا حقيقيًّا أو تامًّا لأنه افتقد بعض السمات التي هي مميِّزة وخصوصية للمشيميات. هذا يتضمن وجود كعب في أسفل الشظية [الشظية: عظم علوي في كاحل أقدام رباعيات الأقدام]، التي هي أصغر عظمتي الظنبوب. ومفصل تعشيقي [مكوَّن من بروز معشق في تجويف] كامل فوق الكاحل، حيث تتلاءم العظام الخلفية الأخيرة الخاصة بالقدم مع تجويف يُشكِّله طرفا الظنبوب والشظية، وصيغة أو تكوين سني خاص بالوحشيات الحقيقية السلفية المنقرضة نمطي (في الفك العلوي ٥ قواطع وناب و٥ ضواحك وثلاث ضروس، وفي الفك السفلي ٤ قواطع وناب و٥ ضواحك و٣ ضروس، على كل جانب من الجانبين). كان لإيومايا ٥ قواطع علوية و٤ قواطع سفلية (وهذا أكثر نمطية واعتيادية بالنسبة لفوق الوحشيات التي تتضمن الجرابيات المعاصرة) و٥ ضواحك و٣ ضروس. أما الثدييات المشيمية فلديها ما يصل إلى ٣ قواطع فقط على كلا الجانبين من الفك العلوي والسفلي و٤ ضواحك و٣ ضروس، لكن نسبة الضواحك إلى الضروس في إيومايا مماثلة للخاصة بالمشيميات. وكان لإيومايا _مثل الثدييات المبكرة الأخرى ومثل الجِرابِيَّات الحية المعاصر وعلى النقيض من المشيميَّات_ مخرجٌ ضيقٌ يوحي بأن إناثه كانت تلد وليدين غير مكتملي التنمِّي محتاجين لتغذية أو تنشئة شاملة مجتهدة. امتدت عظامٌ مرتبطة بالعانة Epipubic bones إلى الأمام من عند عظم الحوض[العظام العانية أو المرتبطة بالعانة: زوج من العظام يبرز إلى الأمام من العظم الحوضي العاني الخاص بالجرابيات الحديثة والثدييات الأولية البيوضة ومعظم متحجرات الثدييات الغير مشيمية مثل متعددة الحدبيات السنية Multituberculata وحتى المشيمية الأولية القاعدية أسلاف الثدييات المشيمية]، والتي تبرُزُ من الحوض وتتفاعل مع عضلات جدار الجسد لتصليب الجذع. لا توجد تلك العظام في أي ثديي مشيمي، لكنها توجد في كل الثدييات الأخرى، بما فيها الوحشيات الحقيقية الغير مشيمية المنقرضة والجرابيات ووحيدات المسلك الإخراجي و فصائل ثديية أخرى منقرضة عاشت في دهر الحياة الوسطى وكذلك في الثيرابسيديات من رتبة فرعية ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية cynodont therapsids الذين كانوا الأقرب إلى الثدييات وأسلافها. إن وظيفة تلك العظام تصليب الجسد أثناء الحركة. هذا التصليب كان سيكون مضرًّا في المشيميات الحوامل، والتي تحتاج أجوافها للتوسع.

أحجام أصغر؟ بالنظر إلى أفكارنا عن بيولُجيَّة وفسيولُجيَّة الديناصورات (راجع الفصل ١٢)، فقد كان ذلك على الأرجح بسبب منافسة الزواحف الحاكمة archosaurs، والتي كانت بالتأكيد قد حلَّت من قَبْلُ مشكلة قيد كاريير. مُنضَغِطِينَ [مُحاصَرين] إيكولُجيًّا بين أوائل الديناصورات (مفترسين سريعي الحركة ذوي ركض ثابت مستمر) والزواحف الصغيرة الأحجام الخاصة بالعصر الترياسي الشبيهة بالسحالي (التي تعيش على الطاقة الشمسية الرخيصة والتي كانت ذوات معدل تمثيل غذائي بطيء في وقت الراحة)، نجت الزواحف ذوات الأسنان الشبيهة بالكلبية من الانقراض فقط بالتطور للعيش بطريقة تناسب الحيوانات الصغيرة الأحجام الحارة الدماء، وليس غيرها، وهي الاعتياش في الليل. وبفعلها ذلك، فقد خاضت تغيُّراتٍ جذريَّة في بنية الجسد والفسيولُجيَّة [وظائف الأعضاء] والتكاثر والتي أدَّت إلى تطور الثدييات.

بحلول نهاية العصر الترياسي، حَلَّتْ الزواحفُ الحاكمةُ محلَّ الثيرابسيديَّات وتغلَّبَتْ عليهم في المنافسة على الأرجح، دافعةً إياهم إلى الاعتياش تحت الأرض أو في عُمْقِ الغابات أو الاعتياش ليلًا وذلك في كل أنحاء العالَم. وبينما صارت الثيرابسيديَّات الباقية القليلة إما منقرضةً أو مقتصِرةً على الأحجام الضئيلة للأجساد، تطورت الديناصوراتُ إلى إحدى أكثر المجموعات الفقارية روعةً وإدهاشًا عبر كل الزمن.

وإذْ كانوا يحفرون في الظلام، عاش الثدييات في موطنٍ [بطريقةِ اعتياشٍ] تتطلب حسَاسةً في السمع والشم واللمس أكبر بكثير. أدَّى هذا المطلب [أو الاحتياج] إلى انتخاب صفة مخ كبير ومعقد نسبيًّا وذكاء وتفكير متطور. إذنْ فلماذا لم يهيمنوا على عالَم العصرِ الطباشيري؟ ربما كان ذلك بسبب التنافس وضغطه.

مع انتشار النباتات المُزْهِرة في العصر الطباشيري المبكر، ازدادت تنوعًا الديناصورات النباتية والحشرات النباتية والثدييات النباتية كلها. قدَّمتْ الزيادةُ في الطعامِ في شكل الحشراتِ والبذور والجوز والفواكه فرصةً إيكولُجِيَّةً كبيرة للثدييات الصغيرةِ الأحجام. لقد ازدادت الثدييات تنوعًا بالفعل خلال العصر الطباشيري، لكن ليس على نحوٍ مبهِرٍ، وعلى الأرجح في بيئات لا تُنْتِج كثيرًا من المتحجرات، وهي بيئات المظلة الشجرية في الغابات. لقد كانت الأنظمة الإيكولُجِيَّة قد ازدهرت منذ العصر الكربوني (راجع الفصل ٩). كانت ثدييات دهر الحياة الوسطى الصغيرة الأجساد الآكلة الحشرات مرشَّحين واضحين لغزو تلك الأنظمة الإيكولُجِيَّة. وبحلول نهاية العصر الطباشيري، يَسْهُلُ تصور مجموعة متنوعة من الثدييات والتي كانت تشغل طرق عديدة لحياة صغار الأجساد في الغابات، وخاصةً في الليل. لقد طوَّر أسلافُ الرئيسيات وأسلافُ الخفافيش على الأرجح سماتِهم الخاصة في المظلة الشجرية. لا يزال الثدييات الصغار الأحجام مهمين جدًّا في المظلات الشجرية حتى العصر الحالي، فالغابات الاستوائية بها الكثير من أنواع الطيور التي تنشط في النهار والثدييات التي تنشط في الليل _كلٌّ منها ذو طريقة حياة أو اعتياش خاصة بصغر الجسد_ فتأكل الحشراتِ والبذورَ والجوزَ والفواكهَ. لكن ثدييات العصر الطباشيري لم تستطع بوضوحٍ التنافسَ ميكانيكيًّا [أي: حركيًّا] مع الديناصورات. فبوضوحٍ لم تُمَكِّنْها طريقةُ حركتها [المتفرشحة آنذاكَ] وعلى الأرجح نظام تمثيلها الغذائي [المكلِّف] من النجاة والبقاء على قيد الحياة على أراضٍ مكشوفة [في الخلاء] في النهار.

مباشرةً بعد نهاية العصر الطباشيري واندثار الديناصورات، بدأت الثديياتُ تشعُّبًا هائلًا إلى كل أحجام الأجساد وإلى طرق اعتياش كثيرة. إنَّ العلاقةَ العكسية بين نجاح الزواحف الحاكمة archosaurs_وخاصةً الديناصوراتِ_ في دهر الحياة الوسطى وبين نجاح الثيرابسيديَّاتِ والثدييات ليست صدفةً على الأرجح. إنها تدل على عجزٍ حقيقيٍ لخط تحدر الثدييات التطوري عن التنافس بنجاح في البيئات البريَّة المكشوفة في ذلك الزمن. إن الانقراض الذي حدث عند زمن التخم الطباشيري–الثِرْشِري أو الثلاثي والذي يبدو أنه "أَطْلَقَ" آخرَ الأمرِ القدرةَ التطوريةَ الكامنةَ للثدييات يجب أن يُنظَر إليه في سياق وإطار باقي حياة العالَم في دهر الحياة الوسطى، وسوف ننظر في ذلك في الفصل التالي.

الفصل السادس عشر

نهاية عصر الديناصورات

صارت فجأةً كل الفقاريات الكبيرة الأحجام على كوكب الأرض تقريبًا _على البر وفي البحر وفي الهواء، كل الديناصورات والبليسيوسورات plesiosaurians والموزاسورات أو الزواحف الميزية البحرية mosasaurs والتيروسورات pterosaurs الزواحف المجنحة الإصبع الرابع المستطال_ منقرضةً منذ حوالي ٦٥ مليون عام ماضٍ، عند نهاية الفترة الطباشيرية. في نفس الزمن، انقرضت معظم العوالق البحرية والكثير من اللافقاريات الاستوائية، وخاصةً القاطناتِ للشِعاب، وتضررت الكثيرُ من النباتات البرية بشدة. يُمَيِّز هذا الانقراضُ تُخْمًا رئيسيًّا في تاريخ كوكب الأرض، وهو التخم الطباشيري_ التِرْشِري أو الطباشيري– الثلاثي أو التخم K–T، ونهاية دهر الحياة الوسطى. لقد كانت انقراضات التُخم الطباشيري – التِرْشِري شاملةً لمستوى العالَم، وأثَّرَتْ على كل القارّات والمحيطات الرئيسية. لا يزال هناك جدالات بخصوص مدى قِصَرِ زمن الحَدَث. لقد كان بالتأكيد مفاجئًا من الناحية الجيولُجِيَّة وقد كان كارثيًّا بكل المقاييس [بمقاييس أي أحدٍ].

مع ذلك، رغم مدى الانقراضات، لا يجب أن ننخدع بالظن بأن التخم الطباشيري – التِرْشِري أو الثلاثي يعيِّن حدودَ كارثةٍ لكل الكائنات الحيَّة. فقد نجت معظم مجموعات الكائنات المتعضِّية. فالحشرات والثدييات والطيور والنباتات المُزْهِرة على البرّ، والأسماك والشعاب المرجانية والرخويَّات في المحيطات مضت في الاستنواع على نحوٍ هائلٍ سريعًا بُعَيْدَ نهاية العصر الطباشيري. تضمنت ضحايا الانقراض الجماعي الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي معظمَ أكبر الكائنات الحية حجمًا خلال كل التاريخ، لكنها تضمنت أيضًا بعضًا من أصغرها، وخصوصًا العوالقَ المائية التي تُنتِجُ معظمَ الإنتاج الأولي والرئيسي في المحيطات.

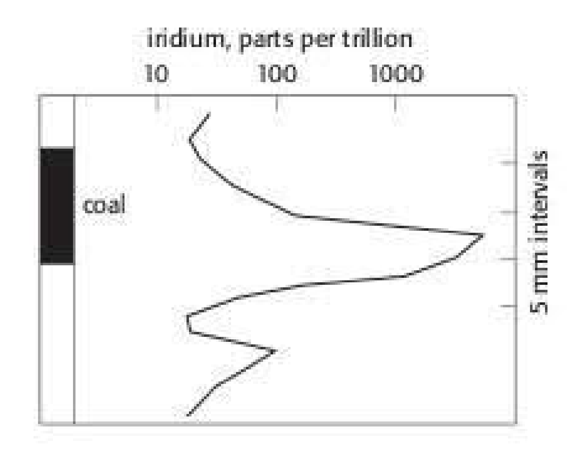
لقد كانت هناك الكثير من النظريات الرديئة لتفسير انقراض الديناصورات. لقد ذُكِر في هذا الفصل نظرياتٌ رديئة أكثر مما ذُكِر في باقي كل هذا الكتاب. كمثال، حتى في ثمانينيَّات القرن العشرين [١٩٨٠ت] اقترح كتابٌ حول انقراض الديناصورات صدر حديثًا حينها أنها كانت تقضي وقتًا أكثر من اللازم في الشمس، فكانت تصاب بالمياه البيضاء [الكتاراكت: عتامة عدسة العين تدريجيًّا]، ولأنها لم تكن تستطيع أن ترى جيدًا فإنها كانت تقع من فوق الجُرُف [المنحدَرات] لتلقى حتفَها! لكن مهما كان مدى إقناعها أو سخافتها، فإن أي فرضية تحاول تفسير انقراض الديناصورات فقط تتجاهل بذلك حقيقةَ أن الانقراضات حدثت في مستعمَرات الحياة الحيوانية على البر وفي البحر والهواء، وكانت على مستوى العالَم حقًّا. لقد كانت انقراضات العصر الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي حَدَثًا عالَميًّا، بالتالي فإننا نبحث عن عوامل مؤثِّرة على مستوىً عالَميّ لتفسيرها؛ كالتغيرات الجغرافية أو المحيطية الجغرافية أو المناخية أو حَدَثٍ فضائيٍّ من خارج الأرض (راجع الفصل ٦). لقد ركَّز أحدث الأعمال حول انقراض التُخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي على فرضيتين تقترحان نهاية عنيفة للعصر الطباشيري: اصطدام بكويكب كبير وانفجار بركاني ضخم. لقد ناقشتُ هذا باختصارٍ في الفصل ٦، لكن الأمر يستحق التركيزَ عن كثبٍ أكثر على هذا، حيث أنه من أكبر انقراضين جماعيين هو الذي نعرفه على أفضل نحوٍ من بينهما.

اصطدام بكويكب أم بنيزك؟

لقد اصطدم كويكبٌ بكوكب الأرض عند زمن انقراض العصر الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي بالضبط. لقد اكتشف الدليل على الاصطدام لأول مرة Walter Alvarez وزملاؤه (انظر Alvarez et al، ١٩٨٠م)، الذين اكتشفوا أن الصخور المتموضعة عند التُخْم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي بالضبط تحتوي على كميات فائقة للعادة من معدن الأَيْرِدْيَم [الإيريديوم iridium] (الشكل البياني ١٦– ١). لا يفرق ما إذا كانت صخور التُخم وُضِعَت على البرّ أم تحت الماء. في المحيط الهادئ وفي الخليج الكاريبي يشكِّل الطين الحامل للأيرِدْيَم طبقةً في رواسب المحيط؛ كما توجد في رواسب الرفِّ [أو الرصيف أو الجُرف] القاريّ[1] في أورُبا، وفي الكثير من أمِركا الشمالية يوجد في الصخور المحتوية على الفحم المتموضعة في السهول الفيضية ودلتاوات الأنهار. التأريخ دقيق مضبوط، وقد حُدِّدَ وجود الأَيْرِدْيَم في أكثر من مئة مكان على مستوى العالَم. حيثما يكون التُخْم في رواسب بحرية، فإن الأَيْرِدْيَم يوجد في طبقة فوق آخر متحجرات مجهرية من العصر الطباشيري بالضبط، وتحتوي الرواسب التي فوقا على متحجرات مجهرية من العصر الباليوسيني [الحديث الأقدم]، وهو أبكر فترة من دهر الحياة الحديثة.

---

١ الرف القارّي: جزء غاطس من قارَّة يبدأ من خط الساحل ويمتد إلى أول تغير ملحوظ في ميل قاع المحيط، ينحدر تدريجيًّا من الشاطئ إلى أن يهوي فجأة، ويكون مغمورًا تحت الماء الضحل على عمق أقل من ٢٠٠ متر، ويميل بميل طفيف، وارتفاعه أقل من ٣ ,١٨ مترًا.



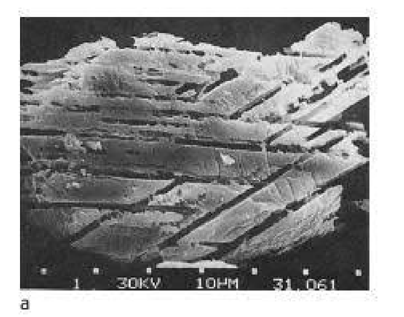
الشكل البياني ١٦- ١ ارتفاع نموذجي في نسبة الأَيْرِدْيَم عند التخم الطباشيري- التِرْشِري أو الثلاثي. نسبة الأيْرِدْيَم بالأجزاء في التِرلِّيون. هذه البيانات من نيو مكسيكو، حيث يقع التخم الطباشيري- التِرْشِري أو الثلاثي في طبقة فحم. مقياس الأَيْرِدْيَم لوغارِتميٌّ (بيانات من ، ١٩٨١).

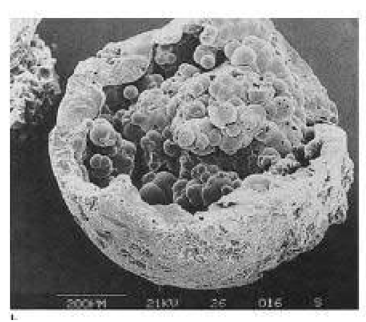
يوجد الأَيْرِدْيَم بنسبة كبيرة في صخور التخم الطباشيري- التِرْشِري أو الثلاثي فقط وبالتالي فقد ترسَّبَ في حَدَثٍ قصيرٍ جدًّا ومُفرَد على نحو مفاجئ وبنسبة كبيرة. يوجد الأَيْرِدْيَم في الرواسب العادية لقيعان البحار بكميات مجهرية [ميكروسكوبية]، لكن تواجد الأيْرِدْيَم كبير للغاية عند التخم الطباشيري- التِرْشِري أو الثلاثي. إن الأَيْرِدْيَم نادر على كوكب الأرض. ورغم أن العمليات الكيميائية في بعض الرواسب يمكِن أن تُرَكِّز الأَيْرِدْيَم إلى حدٍّ ما، فإن نسبة الأَيْرِدْيَم في التخم الطباشيري- التِرْشِري أو الثلاثي أو تخم ط- ت كبيرة للغاية بحيث أنها لا بد أنها قد ارتفعت بطريقة غير عاديَّة ما. إن الأَيْرِدْيَم أندر من الذهب بكثير على كوكب الأرض، إلا أن الأَيْرِدْيَم في طين تخم ط – ت متوفر ضعفي توفر الذهب، وأحيانًا أكثر من ذلك. نفس النسبة المرتفعة توجد في أحجار النيازك. لذلك اقترح فريق Alvarez أن الأَيْرِدْيَم نُثِرَ حول العالَم من سحابةٍ من كَدَرات أو حُتاتٍ تشكَّلت عندما اصطدم كويكبٌ بالأرضِ بموضعٍ ما.

الكويكب الكبير على نحوٍ كافٍ لنثر الكمية المقدَّرة من الأيْرِدْيَم بهذا الارتفاع العالَمي في التُخم الطباشيري- التِرْشِري أو الثلاثي ربما كان بقطر حوالي ١٠ كم (٦ أميال). تقترح النماذج الكمبيوترية أنه لو تصادم مثل ذلك الكويكب بكوكب الأرض، فإنه كان سيمر عبْرَ الغلاف الجوي والمحيط كما لو أنهما لا وجود لهما تقريبًا وكان سيصنع فوهةً في القشرة الأرضية بقطر حوالي ١٠٠ كم. كان الأَيْرِدْيَم والجسيمات الأصغر من الكَدَرات أو الحُطام ستتوزع على مستوى العالَم بفعل انفجار الاصطدام، عندما تبخر الكويكب وكمية ضخمة من القشرة الأرضية في صورة كرة ناريَّة.

لو كانت زيادة الأَيْرِدْيَم كوَّنَها اصطدامٌ كبيرٌ بالفعل، فما الأدلة الأخرى التي سنأمل أن نجدها في سجل الصخور؟ كثيرًا ما تكون بنيوات الاصطدامات المعروفة على نحو جيد بالنيازك بها شظايا كوارتز مصدوم وكُرَيَّات زجاجية ضئيلة تترافق معها. يُكَوَّن الزجاجُ عندما تذاب الصخرة المقذوفة في الاصطدام، منسوفةً في الهواء إلى رذاذ قُطَيْرات، وتتصلب مباشرةً تقريبًا. عبر الزمن الجيولُجِيّ، قد تتحلَّل الكُرَيَّات الزجاجية إلى طين. أما الكوارتز [حجر المرو] المصدوم فيُكَوَّن عندما تمر بلورات الكوارتز بخفقة مفاجئة من الضغط الكبير، لكنها لا تذوب. تُسبِّبُ الصدمةُ بُنْيَواتٍ مِجهرية خاصة ومميَّزة واضحة لا يمكن الخطأ في ملاحظتها (الصورة ١٦- ٢أ).

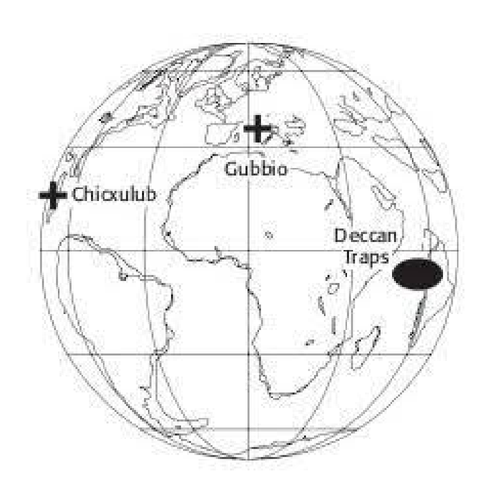
في كل أنحاء أَمرِكا الشمالية، يحتوي طينُ التخمِ الطباشيري- التِرْشِري أو الثلاثي على كُرَيَّات زجاجية (الصورة ١٦- ٢ب)، وفوق هذا الطين تمامًا طبقة أرقُّ تحتوي على الأَيْرِدْيَم بالإضافة إلى شظايا من الكوارتز المصدوم. إنها بِسُمْكِ مليمتراتٍ قلائلَ فقط، لكنها في المجموع تحتوي على أكثر من كيلو متر مكعَّب من الكوارتز المصدوم في أمِركا الشمالية وحدَها. يمتد نطاق الكواتز المصدوم غربًا حتى قاع المحيط الهادئ، لكن الكوارتز المصدوم نادر في صخور التخم الطباشيري- التِرْشِري أو الثلاثي في كل موضعٍ آخر من كوكب الأرض؛ فتوجد بعض الشظايا الضئيلة جدًّا فقط في أورُبا. تدل كل هذه الأدلة على أن اصطدام العصر الطباشيري- التِرْشِري أو الثلاثي حدث في أو قربَ أمِركا الشمالية، حيث جاء الأَيْرِدْيَم من الكوكيب المتبخر وجاء الكوارتز المصدوم من الصخور القارِّيَّة التي صدمها.





الصورة ١٦– ٢ (أ) شظية كوارتز [حجر مَرْوٍ] من التخم الطباشيري– الترْشِري أو الثلاثي في مُنتانا Montana، يظهر بها مجموعتان من الشُرَيّحات أو طبقات رقيقة مشطورة والتي تُمَيّز بلوراتِ الكوارتز التي مرت باصطدام شديد. (ب) كريَّة زجاجية ضئيلة من طين التخم الطباشيري– الترْشِري أو الثلاثي في Wyoming [ولاية تقع في المنطقة الجبلية من غربي الولايات المتحدة الأمِركية]. صورتان بتكرم من Bruce Bohor، من هيئة المسح الجيولجي الخاصة بالولايات المتحدة الأمِركية.

لقد عُثِرَ على الفوهة التي صنعها اصطدام العصر الطباشيري– الترْشِري أو الثلاثي. إنها بُنية جيولُجِيّة بيضاوية الشكل تقريبًا تُدعَى فوهة تشيكشولوب Chicxulub[1]، مدفونة عميقًا تحت رواسب شبه جزيرة يُكَتان Yucatán في المكسيك (الصورة ١٦– ٣). قُطْر البُنية حوالَيْ ١٨٠ كم، فهي قُطْر البُنية حوالَيْ ١٨٠ كم، فهي إحدى أكبر بنيوات الاصطدامات على كوكب الأرض التي تُعُرِّفَ عليها بتأَكُّدٍ حتى الآن. لقد حُفِرَت حُفرةٌ في بنية تشيكشولوب Chicxulub والتي تصل إلى ٣٨٠ مترًا (أكثر من ألف قدم) من الصخر الناري [المتكون من صخر تصلب بفعل تبريد المواد المعدنية المنصهرة في المهل أو الصهارة أي الحمم] وهو ذو كيمياء عجيبة ربما سبَّبها الذوبانُ مع مزيجٍ من الصخور الرسوبية في المنطقة. تحتوي تلك الصخورُ النارية على مستويات عالية من الأَيْرِدْيَم، وعمرها ٦٥ مليون سنة ماضية، متزامِنةً بالضبط مع التخم الطباشيري– الترْشِري أو الثلاثي.



الصورة ١٦– ٣ أماكن هامة في دراسة التخم الطباشيري– الترْشِري أو الثلاثي، تظهر في هذه الخريطة في المواقع التي كانت تشغلها في ذلك الزمن، منذ ٦٥ مليون سنة ماضية. إن Gubbio هي المدينة الواقعة في إيطاليا حيث جمع Walter Alvarez منها العينة التي أنتجت أول دليل على ارتفاع نسبة الأَيْرِدْيَم في ذلك التخم. لاحِظْ أن Chicxulub كانت على بعد ١٢٠ درجة من محابس دِكِن البترولية الصهارية[2] Deccan Traps، وليس ١٨٠ درجة كما عليه الحال حاليًا.

فوق الصخور النارية تتموضع كتلة من الصخور المحطَّمة، على الأرجح أكبر كمية كدرات أو حتات كانت قد سقطت على الفوهة عائدة إلى البر بدون أن تذوب، وفوق منها رواسب عاديّة تكوَّنَتْ ببطءٍ لتملأ الفوهةَ في البحار الاستوائية الضحلة التي غطَّتْ منطقةَ الاصطدام.

كثيرًا ما يكون بفوهات الاصطدامات المعروفة على نحو جيد رواجم زجاجية tektites تترافق معها بالإضافة إلى الكوارتز المصدوم والكريات الزجاجية الضئيلة. الرواجم الزجاجية هي خرزات أو كريات زجاجية ذوات أشكال غير عادية وتراكيب سطحية غير عادية. لقد كُوِّنَتْ عندما ذابت الصخور لحظيًّا ونُثِرَت من مواقع الاصطدام في شكل كتل كبيرة من الزجاج الذائب، ثم بردَتْ بينما كانت تدور في الهواء [بفعل سرعة الانقذاف].

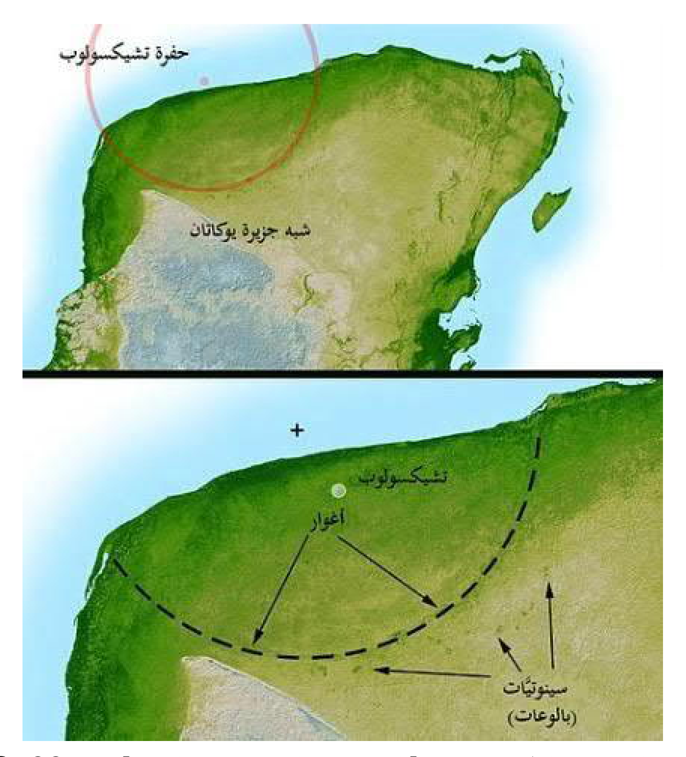
---

١ Chicxulub هو اسم مدينة مع البلدية المحيطة بها، تقع في ولاية Yucatán المكسيكية.

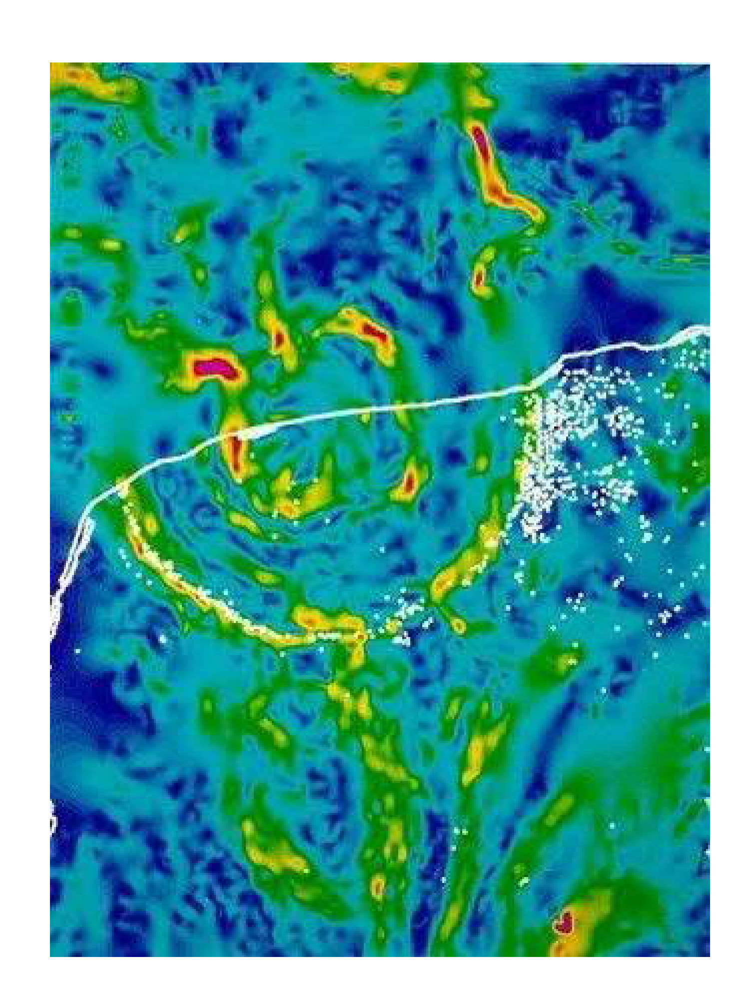
٢ المصايد أو المحابس أو الأشراك: صخور مسامية محاطة بصخور غير نفاذة أوْ بِنْية جيولوجية مناسبة تسبب تعويقاً لسريان البترول وحجزه في هيئة مستودعات طبيعية. وعامة أي حاجز أو عائق صخري لحركة الزيت أو الغاز الصاعدة، مما يسمح بتراكم أحدهما أو كليهما.



مكان فوهة تشيكشولوب Chicxulub في المكسيك (النقطة الملونة بالأحمر)



يكشف هذا التصوير من مكوك وكالة ناسا الخاص بمهمة المسح الراداري الطوبوجرافي [الخاص بالسمات الإقليمية] رقم STS–99 أجزاء من دائرة الفوهة ذات القطر البالغ ١٨٠ كم (١١٠ أميال). توحي الحفر البالوعية[١] المتجمِّعة الكثيرة المتجمعة حول وهدة أو غور الفوهة[٢] بوجود حوض محيطي قديم[٣] في مكان الانخساف الذي خلَّفه اصطدامُ الكويكب.



١ sink hole دارة. حفرة بالوعية، جوة غائرة، ثقب بالوعي (في صخر). حفرة غاطسة. ثقب غاطس. جوبة. جابية. حفرة قمعية. دولين: حفرة كبيرة بشكل القمع أو أنبوبية دائرية الشكل، تتكون في الصخور الرسوبية الكلسية، مثل: حجر الجير، أوْ في صخور المتبخرات، مثل: الجبس والأنهيدرايت، وتنشأ نتيجة انحلال أوْ ذوبان أجزاء من الصخر القابلة للذوبان كالحجر الجيري والحصى الجير أوْ الملح. وتكون الجوبة متصلة بغيرها من الحفر بممرات تحت أرضية. وتسمى أيضاً ثقباً خسيفاً Doline أو فجوة غائرة Swallow – hole.

٢ أو غورها، منخفَضها، جرنها، أخدودها، طيتها المقعرة، انخسافها، قاعها.

٣ حوض محيطي oceanic basin: حوض ترسيبي بين القارات، مثل حوض المحيط الأطلسي.

خريطة الشذوذ التثاقلي[1] الخاص ببنية اصطدام تشيكسولوب. يظهر خط الساحل بلون أبيض. تكشف السلاسل المميزة ذات سمة تداخل المركز عن مكان الفوهة. تمثل النقاط البيض حفرًا بالوعية مليئة بالماء، وهي ظاهرة انحلال بالماء شائعة في الحجر الجيري الخاص بالمنطقة، وتعرف كذلك بالسينوتات[2]. تترافق حلقة من السينوتات مع أكبر ظاهرة تدرج أو انحدار في الجاذبية في المحيط. نشأة تلك السينوتات مرتبطة بالفوهة المدفونة تحتها.


Chicxulub's hocked quartz
الكوارتز المصدوم من تشيكسولوب

في هايتي _التي كانت على بعد حوالي ٨٠٠ كم من Chicxulub عند نهاية العصر الطباشيري_ يتميَّز التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي بطبقة تخمية طينية عادية لكنها سميكة والتي تتكون على نحو رئيسي من كُريَّات زجاجية (الصورة ١٦– ٢). تعلو هذه الطبقة طبقةٌ من الراسب العكر [أو العكريت Turbidite]، وهو مادة تحت بحرية من الانهيارات البحرية تتألف من شظايا صخرية كبيرة[3]. تبدو بعضُ الشظايا مثل قشرة أرضية محيطية محطَّمة، لكن هناك أيضًا قطع كروية من زجاجٍ أصفرَ وأسودَ بقطر يصل إلى ٨ مليمترات والتي هي رواجم زجاجية tektites واضحة لا لَبْسَ فيها. لقد كُوِّنَتْ الرواجم الزجاجية عند درجة حرارة حوالي ١٣٠٠ درجة مئوية من نوعين مختلفين من الصخور؛ وهي تؤرَّخ بدقة بـ ٦٥ مليون عام ماضٍ. تكونت الرواجم الزجاجية السوداء من صخور بركانية قاريَّة وتكونت الصفراء من رواسب البَخْرِ[4] ذوات المحتوى العالي من الكبريتات والكربونات. كُوِّنَتْ الصخورُ حولَ Chicxulub على نحو رئيسي من هذا المزيج من الصخور بالضبط، وللصخور النارية تحت Chicxulub كيميائية خاصة بمزيج من نوعي الصخور ذابَ ذات يومٍ. فوق طبقة الراسب العكر تأتي طبقة طين أحمر رقيقة بسمك حوالي ٥ إلى ١٠ مليمترات فقط والتي تحتوي على أَيْرِدْيَم وكوارتز مصدوم.

يستطيع المرءُ تفسيرَ معظمَ هذه الأدلةِ كالتالي: ضربَ كويكبٌ منطقةَ Chicxulub، ضاربًا ركامًا من رواسبَ سميكةٍ في بحرٍ ضحلٍ. أذابَ الاصطدامُ الكثيرَ من القشرة الأرضية المحلية وقذف المادة الذائبة باتجاه الخارج من عمق يصل إلى ١٤ كم تحت السطح. قُذِفَت كريات صغيرة من الزجاج الذائب إلى الهواء بزاويةٍ مسطَّحة، وسقطت على منطقة كبيرة امتدت باتجاه الشمال الشرقي حتى هايتي، بعيدًا بعدة مئات الكيلومترات، وباتجاه الشمال الغربي حتى كَلُورادو. تلا ذلك المواد الألطف التي كانت قد قُذِفَتْ إلى الغلاف الجوي أو الفضاء وسقطت ببطء أكثر فوق الشظايا الأخشن.

يبرهِن الشكل البيضاوي لفوهة Chicxulub على أن الكويكب اصطدم بزاوية مسطَّحة منخفضة، حوالي ٢٠ إلى ٣٠ درجة، ناثرًا أكدارًا [حُتاتًا] باتجاه الشمال الغربي أكثر من الاتجاهات الأخرى. هذا يفسر على وجه الخصوص التضرر الهائل لقارَّة أمِرِكا الشمالية، والتوزيع المتحيز للكوارتز المصدوم بعيدًا في المحيط الهادئ.

١الشذوذ التثاقلي أو شذة الجاذبية أو شذوذ الثقل Gravity anomaly: الفرق بين التثاقل المرصود والتثاقل النظري أَوْ المتوقَّع. وعامة فهو الفرق بين مقدار الجاذبية المرصودة أَوْ الملحوظة عند نقطة ما وا لْمِقْدَار المسْحُوب نظرياً. وهو مبنِي على نموذج جاذبية بسيط، عادة ما يُحَسَّن طبقاً لفرضيات عامة لتغيرات في الكثافة تحت السطحية وإرتباطها بالطبوغرافية السطحية.

٢ سينوتات ومفردها سينوت أو سينوتي (بالإنجليزية: Cenote) وهو مجرى يحتوي على مياه جوفية تجد مثالاً نموذجياً منه في شبه جزيرة يوكاتان وبعض الجزر الكاريبية القريبة والتعبير مشتق من كلمة تُستَعمَل من قِبَل شعب المايا في المناطق المنخفضة للإشارة إلى أي موقع يكون فيه الوصول للمياه الجوفية ممكناً. هي ارتباطات سطحية بأجسام مائية تحت أرضية بينما تعرف أكبر السينوتات بأنها بركات ماء كبيرة مفتوحة تستوعب عشرات الأمتار في قطرها مثل السينوتات الموجودة في تشي تشين إتزا وأكبر عدد للسينوتات هو محمي في مواقع طبيعية وليس بالضرورة أن يحتوي على سطح مائي مكشوف. الماء في السينوتي يكون غالباً نقي جداً ويكون قادماً أو ناتجاً من ماء الأمطار الذي يترشح ببطء من خلال مسامات الأرض. نسبة تدفق المياه الجوفية ضمن السينوتي قد تكون بطيئة جداً من حيث السرعة فتتراوح بين ١ إلى ١٠٠٠ متر في السنة الواحدة. في العديد من الحالات تكون السينوتات هي مساحات نتجت من تحطم أجزاء من سقف كهف كاشفاً عن نظام كهفي تحتي ونسبة تدفق الماء هنا قد يكون أسرع بكثير ويصل إلى ١٠٠٠٠ متر في اليوم الواحد.

٣ رواسب ترسِّبها تياراتُ العكر (Turbidity current تيار مائي بحري كثيف مشبع برواسب عالقة كثيفة من الوحل والرمل). وتشكل الأحواض البحرية العميقة البيئة الرئيسية التي تتكون فيها رواسب العكر. وأهم رواسب العكر هي أحجار الجريواكي، وهي صخور رملية تحتوي على نسبة عالية من الطين ونسبة كبيرة من الفلسبار وباقي النسب عبارة عن كوارتز.

٤ evaporites: صخور تتكون نتيجة عملية البخر وتركيز موادها في مياه البحر.

توحي مواقعُ أخرى في الخليج الكاريبي الغربي أن الرواسب الراكدة العادية في المياه العميقة قوطِعَت بعنف عند نهاية العصر الطباشيري بالضبط، وفوق الرواسب المقاطَعة طبقةٌ حاملةٌ للأَيْرِدْيَم فوقها بالضبط. في الكثير من مواقع المكسيك وتكساس [ولاية أمِرِكِية] وفي موقعين على قاع خليج المكسيك توجد علامات على حدوث اضطراب كبير في المحيط عند التُخْم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. في بعض الأماكن، تحتوي رواسب قاع البحر المقاطَعة المشوَّشة على أوراق أشجار وأخشاب من نباتات بريَّة، بالإضافة إلى رواجم زجاجية تؤرَّخ بـ ٦٥ مليون سنة ماضية (الصورة ١٦– ٤). وحول الخليج الكاريبي وفي مواقع حتى الشاطئ الأطلنطي الشرقي الخاص بالولايات المتحدة الأمِرِكِيَّة مُزِّقَت رواسبُ العصر الطباشيري ووُزِّعَتْ من جديد في ركامٍ فوضوي غير مرتَّب والذي يحتوي أيضًا على كريات زجاجية ذوات طبائع كيميائية مختلفة وشظايا كوارتز مصدوم وجسيمات أَيْرِدْيَم. يدل كل هذا على أن تسونامي[١] هائلًا أو موجة مَدِّيَّة أثَّرَت على حافة المحيط في ذلك الزمن، كاسحةً النباتات البريّة المرتوية بالماء العذب إلى البحر وممزِّقةً رواسبَ قاعِ البحرِ التي كانت تترسب غيرَ مُقاطَعةٍ لملايين من السنين قبل ذلك الزمن. المزيج الغريب من الصخور الناتج يُدعَى باسم "الخليط الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي".





الصورة ١٦– ٤ راجمتان زجاجيتان tektites من التخم الطباشيري – التِرْشِري أو الثلاثي في Mimbral في المكسيك، إحداهما يُشار إليها على نحو عاطفي بـ "يويو Mimbral".

حالما تُعُرِّفَ على منطقة Chicxulub، صار يمكن حسابُ بعض تفاصيل كرة النار [القذيفة]. لقد قُذِفَتْ الشظايا الأكبر _الصلبة والسائلة_ باتجاه الخارج بزاوية منخفضة، لكنْ ليس بعيدًا جدًّا، ورُضِعَتْ أولًا ومحليًّا كشظايا صخور ورواجم زجاجية (قاطعةً مسافة حوالي ١٥ دقيقة سفر إلى كولورادو!). وفي نفس الوقت، رُفِعَتْ الشظايا الأصغر _بما فيها الكوارتز المصدوم_ إلى الأعلى، وسرعانَ ما سقطَتْ سريعًا ومحليًّا (بسفر حوالي ٣٠ دقيقة للوصول إلى كَلُورادو). تبخر معظم كتلة كرة النار، أمَا الكدرات المذابة المرتفعة عاليًا فوق الغلاف الجوي فتموضعت آخرَ شيءٍ، وتراكمت ببطء نازلةً إلى الأسفل كقُطَيْراتٍ صلبة. كانت قوة طاقة الانفجار _بمقارنتها بانفجارات القنابل الهيدروجينية_ حوالي مئة مليون ميجا طن [الميجا طن تساوي مليون طن من المتفجرات].

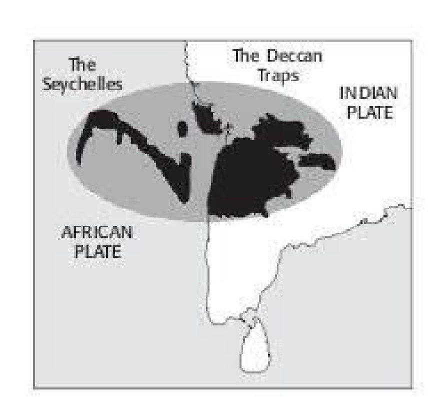
انفجار بركانيٌّ هائل؟

عند التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي بالضبط، شق وشاح صهاري عمودي صاعد طريقَه عبْرَ القشرة الأرضية قُرْبَ التخم الصفيحي بين الهند وأفريقيا. تدفقت كميات هائلة من البازلت فوق ما هو اليوم نَجْدُ[٢] الدِكِنْ Deccan في غربيِّ الهند ليُكَوِّنَ طبقات حممية [لافا] ضخمة تُدعى محابس الدِكِن Deccan. يتموضع امتداد ضخم من ذلك التدفق الحُمَمي على الجانب الآخر من التخم الصفيحي اليومَ تحت الماء في المحيط الهندي (الصورتان ١٦– ٣ و١٦– ٥). مساحة محابس الدِكِن تغطِّي ٥٠٠ ألف كم مربع في العصر الحالي (حوالي ٢٠٠ ألف ميل مربع)، لكنْ ربما كانت تغطِّي أربعةَ أضعافِ ذلك قبل أن يُزيلَها الانفجار البركاني من بعض المناطق. إن لها حجمًا متبقيًا مليون كم مكعَّب (٢٤٠ ألف ميل مكعَّب) وتفوق سماكتها ٢ كم في بعض الأماكن. كان الحجم البركاني الكامل الذي انفجر _بما في ذلك الحمم تحت البحر_ أكبر بكثير من ذلك (الصورة ١٦– ٥).

---

١ التسونامي tsunami: كلمة يابانية الأصل تعني موجة بحرية ضخمة أو فيضان تسببه زلازل تحت البحر.

٢ النجد: سهل واسع مرتفع. وهضبة أو نَجْد الدَّكَن أو هضبة ديكان إقليم بجنوب الهند يحدد من الوجهة التاريخية بجميع أراضي الهند الواقعة جنوب نهر ناربادا وفي معناه الأضيق يقصد به الهضبة الواقعة وسط شبه الجزيرة الهندية فيشمل ولايات كارناتكا بأكملها وجنوب أندرا برادش وجنوب ماهارشترا وشمال تاميل نادو وتكثر زراعة القطن بهذا الإقليم لخصب تربته البركانية .



الصورة ١٦– ٥ تدفقت محابس الدِكِنْ Deccan الهندية عندما انقسمت صفيحتا الهند وأفريقيا عن بعضهما منذ حوالي ٦٥ مليون عام ماضٍ. وُضِعَت كميةٌ هائلةٌ من الحُمَم فوق بُرْنُسٍ أو وشاحٍ ساخنٍ[1]. ليس فقط على البر على الصفيحة الهندية، بل وبعيدًا عن الشاطئ لتُكَوِّنَ كتلة هائلة تحت البحر على الصفيحة الأفريقية حول ما هو حاليًّا جزر سيشل وجزء من قاع المحيط الهندي. تعيِّن المناطق الملونة بالأسود كميات الحمم المتبقية، وتظهر في هذه الخريطة حسبما تكوَّنَت في جغرافيا عصر التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. لا بد أن حممًا أكثر بكثير قد تدفقت أكثر من التي تبقَّتْ.

لا يمكن فصل تاريخ الانفجارات البركانية للدِكِن Deccan عن زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. ربما استمرت الثورات البركانية في ذورتها لمدة حوالي مليون سنة فقط، لكن ذلك الزمن القصير وسَّعَ التخمَ الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. لقد كان معدَّل الثوران على أقل تقدير ٣٠ ضعف معدَّل ثورات جزر هاواي في العصر الحالي، رغم افتراض أنها استمرت خلال فترةٍ تصل إلى مليون سنة، أما لو كان الثوران أقصر زمنيًّا أو متقطعًا، لكان معدَّل الثوران سيكون أعلى بكثير. لقد تدفقَّتْ محابسُ الدِكِنْ Deccan على الأرجح عندما تدفقت الحُمَمُ، ونبَعَتْ مثل الخاصة بكيلاويا Kilauea[2]، وليس مثل التدفقات الانفجارية كالخاصة بجزيرة كراكاتوا أو كراكاتو الإندونيسية Krakatau or Krakatoa[3]. لا يزال الوشاح الصهاري العمودي الدِكِنِيّ Deccan نشِطًا، وتقع نقطته الساخنة حاليًّا تحت جزيرة Réunion البركانية في المحيط الهندي.

بالتالي فقد تزامن التُخْمُ الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي مع حدثين دراميين [مفاجئين كبيرين] جدًّا. تقع محابس الدِكِنْ في التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي وقد تكوَّنَتْ خلال ما كان حَدَثًا كبيرًا في تاريخ كوكب الأرض. وقد كان اصطدام الكُوَيْكِب أيضًا في زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي بالضبط. بالتأكيد حدَثَ شيءٌ دراميٌّ للحياة على كوكب الأرض، لأن علماء الجيوُجِي تعرَّفُوا على [أو حدَّدُوا] التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي ونهاية دهر الحياة الوسطى على أساس ومن خلال انقراض كبير جماعي للكائنات الحية على البر وفي البحار. كان لاصطدامِ كويكبٍ أو سلاسل من الانفجارات البركانية الضخمة أو كليهما أن يكون له تأثيرات عالَمية كبيرة على الغلاف الجوي [الهواء] والمناخ.

هل سَبَّبَتْ كارثةٌ طبيعيةٌ الانقراضاتِ؟

تقريبًا كل العلماء المنخرطين على نحو مباشر في محاولة تفسير انقراضات التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي متعصِّبين عاطفيًّا لإحدى فرضيات الكوارث الطبيعية أو ضدها كلها عاطفيًّا. هذا قد أدَّى إلى ادِّعاءات تفسيرية تتجاوزُ حدودَ قيمةِ الأدِلَةِ. يجب أن يكون المرءُ مستعدًا للقيام بحُكْمِه الخاصِّ به، ويجب أن تخضع كل الادعاءات بالتأكيد لتدقيقٍ وثيقٍ مُحْكَمٍ.

بالإضافة إلى تأثيرات التدفق [الانفجار] الوشاحي الصهاري العمودي الصاعد والاصطدام بكويكبٍ والموصوفَيْن في الفصل ٦، فقد كان اصطدام الكويكب عند منطقة Chicxulub مُبيدًا على وجه الخصوص لأن الصخور المقذوفة احتوت على كميات عالية من الكبريت. لقد تسبَّبَ الاصطدامُ في كميات من ذريرات كبريتات [أو جسيمات هباء جوي، ضباب] في الغلاف الجوي والتي عمِلت كمواقع تَنْوِية[4] لأمطارٍ حمضية أكثر كثافةً وتدميرًا من أيِّ شيءٍ تسبَّبْنا

---

١ بُرْنُس ساخن. وِشَاح ساخن. غيلالة حار: ما يرتفع من البُرْنُس أوْ الوشاح الساخن في الإنبثاقات الوِشَاحية الساخنة وعند الحدود المتباعدة، مثل: الإنبثاقات الريشية المرتفعة من الوِشاح الساخن.

٢ بركان كيلاويا (بالإنجليزية: Kīlauea)، من أكثر البراكين نشاطاً على وجه الأرض وأكثرها زيارة. و بركان كيلاويا هو أحد البراكين الخمسة التي تتألف منها جزر هاواي التابعة للولايات المتحدة في وسط المحيط الهادي. يسبق الثوران البركاني هزات من الزلازل التي تسبب الشقوق في الأرض مما يُسهِّل تدفق الصهارة إلى الخارج وتتناثر منها الحمم. وعادةً ما يتبع نشاط بركان كيلاويا ضباب دخاني يصل مداه إلى الجزر الأخرى. وهو من القوة بما يكفي للقضاء على بعض القرى وحرق العديد من المنازل كما حصل عند ثورانه عام ١٩٩٠، وأكبر ثوران له كان عام ١٩٢٠ حيث وصل ارتفاع الحمم إلى ٢٠ كيلو متراً في الهواء.

٣ كراكاتوا أو كراكاتو، بالإندونيسية Krakatau: هى جزيرة بركانية تقع في مضيق سوندا بين جزيرتي جافا وسومطرة في إندونيسيا .يتم استخدام الاسم أيضا لمجموعة جزر تحيط ببقايا الجزر التى تضم أكبر بكثير من ثلاثة قمم بركانية التي طُمِسَت في اندلاع ١٨٨٣ الكارثى ، الذى أطلق العنان لموجات ضخمة من التسونامي التى (قتلت أكثر من ٣٦،٠٠٠ شخص) ودمرت أكثر من ثلثي الجزيرة. ويعتبر هذا التفجير ويعد أعلى صوت يسمع من أي وقت مضى في التاريخ الحديث، مع تقارير عن أن يكون سمع ما يصل إلى ٣،٠٠٠ ميل (٤،٨٠٠ كم) من نقطة المنشأ.حيث سجلت موجات صدمية من الانفجار على الباروغرامات في جميع أنحاء العالم.

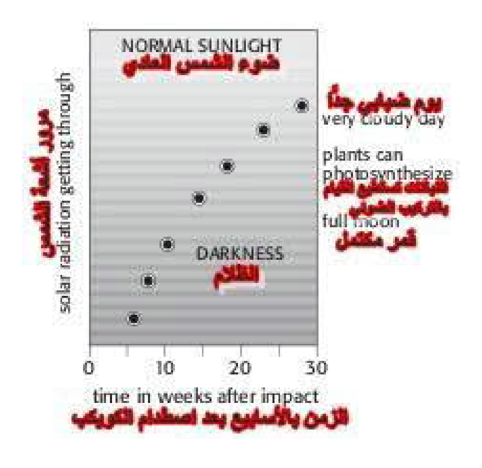
٤ التنوية nucleation: نشوء حبيبات صغيرة تتكون منها بلورات معادن جديدة، وعامة فهي بداية نمو البلورة عند موقع أو نقطة.

به بالتلوث الصناعي. يقترح أحد النماذج مطرًا حمضيًّا بقوة حمض البطاريَّة! كان التأثير المباشر (وفقًا لبعض نسخ نماذج الاصطدام) كافيًا لخنق بعض الكائنات متنفسي الهواء وتدمير أوراق النباتات وإذابة أصداف الكائنات البحرية المعتاشة على طول الشواطئ وفي المياه السطحية للمحيطات. اضطرب توزان ثاني أكسيد الكربون بين الهواء والمحيطات، وجعلت سلسلةٌ من الأحداث المناخية المياهَ السطحية للمحيطات عقيمةً غير صالحة للحياة لمدة حوالي عشرين سنةً.

ما الذي علينا فعله مع هذه السيناريوهات الكارثية؟ على نحو طبيعي [بطبيعة الحال]، نقارنها بالأدلة المتوفرة من السجل الجيولُجِيّ. إن الطيور والسلاحف والثدييات يعيشون على البر ويتنفسون الهواءَ، وتُثبِتُ الأدلةُ من التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي أنهم نجَوْا من حَدَثِ انقراضِ التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. بالتالي فإنهم هم والهواء الذي تنفسه أسلافهم لم ترتفع درجة حرارتهم كثيرًا لعدة ساعات (راجع الفصل ٦)، ولا استنشقوا مطرًا بدرجة حامضية حمض البطاريات أيضًا. للتعبير عن الأمر بوضوح: هذه السيناريوهات المتطرفة القصوى لم تحدُثْ.

سأُلخِّص أكثر سيناريوهات الانقراض بكارثة طبيعية إقناعًا سريعًا. إقليميًّا، لا يوجد شك كبير في أن قارة شمال أمِركا تدمرَّت على نحوٍ مُطلَقٍ. وعالَميًّا، حتى كارثة طبيعية قصيرة الزمن مضرة بالنباتات البريَّة وعوالق الماء السطحي في البحار كانت ستَضُرُّ بشدةٍ وعنفٍ بسلاسل الغذاء. تعرَّضَتْ الديناصورات والزواحف المجنحة الإصبع الرابع [التيروسورات Pterosaurs] والزواحف البحرية الكبيرة الأحجام لنقص الطعام، ويبدو انقراضهم بعد كارثةٍ طبيعيةٍ معقولًا. أما السحالي والثدييات البدائية _الذين نجَوْا_ فهم صغار الأحجام وكثيرًا ما يحفرون الجحور أو يسبتون في بيات شتوي؛ فوجدوا وفرةً من الجوز والبذور ويرقات الحشرات واللافقاريات المدفونة أو القابعة في جوارهم في الظلام. وفي المحيطات، عانت اللافقاريات العائشة في الماء الضحل بشدة من البرد أو التجمد، أو ربما من ثاني أكسيد الكربون المُسبّبِ لارتفاع الحرارة. لكنَّ أشكال الحياة في الماء الأعمق كانت معزولة عن صدمة الحرارة أو البرودة وكان لها معدَّلات تمثيل غذائي منخفضة؛ وبالتالي كانت قادرةً على النجاة حتى لشهور من المجاعةِ. أما مستعمَرات الحياة الحيوانية في خطوط العرض العالية فكانت على وجه الخصوص متكيفة من قَبْلُ مع ظلام الشتاء الطويل، رغم أنها لم تكن متكيفة للبرد الشديد التطرف. بالتالي، فربما هلكت معظم مستعمَرات الشعاب الاستوائية، لكن مستعمَرات الماء العميق وخطوط العرض العالية استطاعت النجاةَ والبقاءَ حيةً على نحو أفضل. كل هذه الأنماط ملاحَظة في التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي.

إن المشكلة في فرضيَّات الكارثة الطبيعية لتفسير انقراضات التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي أن الكارثة أو الكوارث يجب أن تكون قد كانت شديدة لكن ليس شديدة أكثر من اللزوم، لأن الكثير من الكائنات الحية نجت. لا بد أن يكون الغبار والسخام قد سقط سريعًا (خلال سنة) للتوافق مع بعض السيناريوهات، لكنه كان يحتاج أن يبقى معلَّقًا لمدة أطول في الغلاف الجوي للتسبب في تأثيرات أخرى (الشكل ١٦– ٦). يُظْهِر التفحص عن كثب للسخام من التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي تحلُّلًا فطريًّا في أنسجة نباتات كانت موجودة في الأصل قبل الحَدَث الكارثي. ذلك يعني أن النيران التي تسببت في السخام ربما كانت عادية الحجم، او ربما كانت ضخمة، لكن الفطريات بالتأكيد [في تلك الحالة الأخيرة] تكون لم تتكوَّن في وسط الحرائق الهائلة مباشرةً بعد اصطدام الكويكب كما تقترح بعض النماذج الكمبيوترية، بل تكوَّنَتْ على بعد أسابيعَ على الأقل أو شهورٍ على الأرجح بعد موت [معظم] النباتات.



الشكل ١٦– ٦ نسخة مبكرة من سيناريو أو فرضية "الشتاء الناتج عن الاصطدام بكويكب". تُظْهِر النقاط توقعات برنامج كمبيوتر حسَبَ مستوياتٍ على سطح كوكب الأرض عندما حجبَ الغبارُ في الغلاف الجوي أشعةَ الشمسِ بعد الاصطدام. هذه النموذج أشد عنفًا من نماذج أخرى. في هذا السيناريو أو النموذج، سقط الكثير من الغبار ببطء. لم تستطع العوالق القائمة بالتمثيل الضوئي في المحيطات ولا النباتات على البر القيامَ بالتمثيل الضوئي البتةَ تحت أي ظروفٍ لمدة ٢٠ أسبوعًا (خمسة أشهر) بعد الاصطدام. (بيانات من منشور للجمعية الجيولُجِية الأمرِكيَّة– ورقة بحثية خاصة رقم ١٩٠).

إننا لا نزال لا نعلم بعدُ ما إذا كان اصطدام الكويكب والانفجار البركاني في العصر الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي كان ذا تأثيرات بيولُجِيَّةٍ وإيكولُجِيَّةٍ كارثية شديدة أم متوسطة فقط، ولا ما إذا كانت تلك التأثيرات محلية أم إقليمية أم عالَمية. رغم ذلك، ففي كل السيناريوهات كان عامل الإبادة زائلًا مؤقَّتًا، لقد أثَّرَ لزمن قصير جيولُجِيًّا فقط.

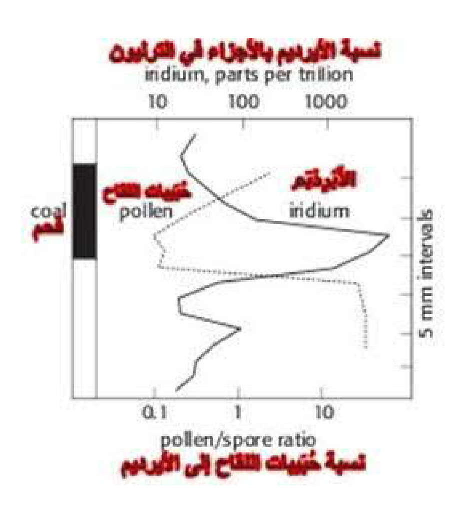
الدليل الأحفوري من طبقة التخم الطباشيري– التِرْشِري

إن أدلة علم المتحجرات من التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي ملتبِسةٌ. فبينما تُفسَّر بعض الظواهر على نحو جيد بفرضية اصطدام الكويكب أو الثوران البركاني، فإن أخرى ليست كذلك. إن المتحجرات لا تزوِّدُنا بأدلة حقيقية بخصوص أحداث انقراض العصر الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي، بدلًا من الاستدلال من خلال القياسات الجزئية أو النماذج الكمبيوترية.

إن أفضل المقاطع الأرضية دراسةً لها في نطاق التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي هي في أمِركا الشمالية. وهذه مشكلة على نحو مباشر، لأننا نعلم أن تأثيرات اصطدام الكويكب كانت أكبر فيها مما هي عليه في معظم أجزاء العالَم. ربما يعطينا هذا وجهة نظر أكثر كارثية عن حَدَثِ التُخْمِ الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي أكثر مما كنا سنراه ونجمعه من خلال _مثلًا_ دراسة متأنِّية مشابِهة في نيوزيلاند. رغم ما قلناه آنفًا، فإنه واضحٌ أن الحياةَ _حتى في أمِركا الشمالية_ لم تُبَدْ بالكامل. فالكثير من النباتات والحيوانات نجَتْ من حدث التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي.

النباتات البريَّة

دُمِّرَتْ النباتات البريَّة الخاصة بقارة أمِركا الشمالية من ألْبِرْتا الكنديَّة وحتى نيو مكسيكو في زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. يهيمن على الرواسب تحت التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي حبيبات لقاح وعائيات البذور، لكن في التخم نفسه يوجد القليل من حبيبات لقاح وعائيات البذور أو تنعدم، وتهيمن عليه بدلًا منها أبواغ السرخس في ارتفاع مفاجئ لنسبة الأبواغ مشابه لارتفاع نسبة عنصر الأَيْرِدْيَم (الشكل ١٦– ٧). توجد وتُسْتَأنَف الإحصاءات العادية لحُبيبات اللقاح مباشرةً بعد طبقة التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. بالتالي فإن ارتفاع نسبة الأبواغ المفاجئة تتزامن بدقة مع ارتفاع نسبة الأَيْرِدْيَم في الزمن وتتساوى معه في الكثافة وقصر الفترة. يوجد ارتفاع في نسبة الأبواغ أيضًا في نيوزيلاند، مما يوحي أن الأزمة كانت عالَمية المدى.



الشكل البياني ١٦– ٧ في الكثير من مواقع التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي يتطابق ارتفاع نسبة الأَيْرِدْيَم مع ارتفاع نسبة الأبواغ. فلفترة غير محددة من الزمن، لم تودَع في الأرض أي حبيبات لقاح لوعائيات البذور، رغم أن أبواغ السرخسيات أودِعَتْ بوفرةٍ. هذه البيانات من نفس موقع بيانات الصورة ١٦– ١، وهو نيو مكسيكو.

يمكن تفسير ارتفاع نسبة الأبواغ المتحجرة بحدوث أزمة قصيرة لكنها شديدة للنباتات البريَّة، تسبَّبَ بها اصطدامُ كويكبٍ أو انفجارٌ بركانيٌّ، والتي بادت فيها كل أوراق النباتات البالغة (بسبب مزيج ما من افتقاد الضوء و/أو التجمد الطويل و/أو المطر الحمضي). ربما كانت السرخسيَّات أول نباتات تُعيدُ استعمارَ الحطامَ، وعادت النباتاتُ الأعلى لاحقًا. إن مثل ذلك حَدَثَ بعد انفجار جزيرة كراكاتوا أو كراكاتو الإندونيسية Krakatau[1] البركاني في عام ١٨٨٣م، فقد

[1] كراكاتوا جزيرة بركانية بإندونيسيا، في مضيق سوندا بين جاوة وسومطرة. ثار فيها بركان ١٨٨٣. نسف جزءا منها، وغير من شكل المضيق وصحب البركان موجات مد عاتية سببت خراباً كبيراً وخسائر جسيمة في الأرواح. وكان حجم الأنقاض والطفح البركاني ضخما إلى درجة أن تكونت منه جزر جديدة. وانتشرت الأنقاض فوق المحيط الهندي حتى وصلت إلى مدغشقر. وحدثت بعد ذلك ثورانات أخرى أقل عنفاً.

نمت السراخسُ سريعًا على أسطح الجزيرة المدمَّرة، ربما من أبواغ محمولة بالرياح، لكنها حلت محلها لاحقًا خلال عقودٍ قلائل النباتاتُ المُزْهِرة عندما أُعيدَ تأسيس مُجتمَع حياة نباتية كامل.

تؤكد الأدلة من خلال متحجرات أوراق الأشجار صحة بيانات نسبة الأبواغ وحبوب اللقاح. لقد تعافت النباتات البرية من الأزمة، لكن الكثير من أنواع نباتات العصر الطباشيري المتأخر أبيدَت واستُأْصِلَت. لقد ظلت الناجيةُ منها آمنةً خلال الأزمة كبذورٍ وأبواغٍ في التربة على الأرجح، أو حتى كجذور وريزومات rhizomes أو جذمورات [سيقان أرضية متحولة شبيهة بالجذور تحت الأرض تحمل براعمَ وجذورًا في نفس الوقت].

كانت النباتات الوعائية البذور في وسط توسع كبير في العصر الطباشيري المتأخر (راجع الفصل ١٤)، واستمر ذلك التوسع حتى العصرين الباليوسيني والإيوسيني [الجزءان القديم والمبكر من دهر الحياة الحديثة]. لقد تقلَّبَ المناخُ (ودرجة تنوع النباتات) قبل زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي، لكن ليس إلى درجة تعليل أزمة النباتات اللاحقة بالمناخ. إلا أن هناك تغيرات هامة ومفاجئة في مستعمَرات الحياة النباتية الخاصة بقارة أمِركا الشمالية عند من التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. فكمثال، في العصر الطباشيري المتأخر نمَتْ غابةٌ دائمةُ الخضرةِ من مُنْتانا [في الولايات المتحدة الحالية] حتى نيو مكسيكو في مناخٍ شبه استوائي جافٍّ موسميًّا. أما عند التخم فقد اسْتُبْدِلَتْ الغابة الدائمة الخضرة على نحو رئيسي في معظمها الخاصة بالعصر الطباشيري المتأخر بغابة نَفْضِيَّة مستنقعية سبِخةَ إلى حد كبيرٍ في مناخ أكثر رطوبةً في دهر الحياة الحديثة المبكر. يمثِّل ارتفاع نسبة السرخسيات [وأبواغِها المودَعةِ الأرضَ لتتحجَّر] فترةَ طينٍ سبخٍ مستنقعيّ عند التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي نفسه. نجت الأشجار النفضية من أحداث زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي على نحوٍ أفضلَ بكثيرٍ مما فعلَتْ الأشجار الدائمة الخضرة، وعلى وجه الخصوص فإن الأنواع التي كانت قبل ذلك العهد تنتشر إلى الشمال صارت تنتشر آنذاك باتجاه الجنوب.

يمكن تفسير هذه التغيرات بسيناريوهين مختلفين للكارثة: إما كارثة أبادت كل النباتاتِ محليًّا، مع إعادة استعمار البيئة من جانب الناجيةِ منها؛ وإما كارثة دمَّرَتْ انتخابيًّا على نحوٍ انتقائيٍّ النباتاتِ الدائمةَ الخُضْرةِ.

مُسْتَعْمَرات المياه العذبة

بعض الأمور الإيكولُجِيَّة الشاذَّة عند التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي لا يسهُل تفسيرها بسيناريو كارثي. فمستعمَرات المياه العذبة كانت أقل تضرُّرًا من المستعمَرات البريَّة. كمثال، نجت الترَس [السلاحف البحرية] وزواحفُ مائيةٌ أخرى في داكوتا الشمالية الأمِركية[١]. بينما أُبِيدَتْ الديناصوراتُ تمامًا. تُزَوَّدُ مستعمَراتُ المياهِ العذبةِ بالوقود إلى حدٍّ كبير بفُتات أو حطام الصخور المتدفق، الذي يحتوي على مواد غذائية التي تأتي من النباتات البريَّة. لقد اقتُرِحَ أن الحيوانات التي في سلاسل الغذاء التي تبدا بفتات الصخور بدلًا من الإنتاج الأولي كانت ستنجو من كارثةٍ طبيعيةٍ على نحوٍ أفضلَ من الأخرى. هذا يبدو صحيحًا في العموم ويبدو أنه ينطبق على مستعمَرات المياه العذبة في زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي، لكن تلك المستعمَرات كانت ستنجو من أي أزمةٍ إيكولُجِيَّةٍ على نحوٍ أفضلَ، سواءً أكانت كارثيةً أم لا.

تحديد الجنس عن طريق العوامل البيئية

معظم سيناريوهات أو فرضيات الكارثة شديدة للغاية لدرجة أنه يصعُب فهمُ كيفية نجاة بعض مجموعات الحيوانات. في الكثير من أنواع الزواحف الحية المعاصرة يكون تحديد الجنس لأنسالها عن طريق العوامل البيئية. فجنس الفرد في تحديد الجنس عن طريق العوامل البيئية لا يُحدَّدُ جينيًّا [بالجينات]، بل بدرجات حرارة البيئة التي يمر بها الجنين خلال مرحلةٍ حاسمةٍ من التنمّي الجنينيّ. كثيرًا _ولكن ليس على نحو معمَّم_ ما يتنمَّى في درجات الحرارة الأدفأ الجنس الذي يكون أكبر حجمًا في بالغي النوع. لقد تطور هذا النمط على الأرجح _في حال كانت كل الأمور الأخرى كما نتوقعها_ لأن درجات الحرارة الأدفأ تُعَزِّزُ نموًّا أسرعَ وبالتالي حجمًا نهائيًّا أكبرَ (على الأقل بالنسبة للكائنات المتغيرة درجة حرارة الجسد والتي تنظمها بالعوامل الخارجية). إناث الترس [السلاحف البحرية] أكبر حجمًا من الذكور لأنهن يحملن أعدادًا ضخمة من البيض الكبير، لذلك تنزع الترس الصغيرة إلى أن تفقس كإناثٍ إن تنمَّى

---

٢ North Dakota هي ولاية تقع في الوسط الغربي من الولايات المتحدة الأمريكية. تقع في أقصى شمال ولايات السهول الكبرى، وفي النصف الشمالي من الداكوتاوين، تقع داكوتا الشمالية جنوب مقاطعتي مانيتوبا وساسكاتشوان بكندا. وهي تجاور ثلاثة ولايات أمريكية، فتقع شرق مونتانا، وشمال داكوتا الجنوبية، وغرب مينيسوتا.

البيض جنينيًّا في أماكن دافئة وكذكورٍ في الأماكن الأبرد. هذا يجعل عمل مزرعة تربية من الترس صعبًا. أما التماسيح والسحالي فعكس ذلك تمامًا. الذكور أكبر من الإناث لأن هناك تنافسًا قويًّا بين الذكور [الانتخاب الجنسي]، لذلك ينزع البيض الموضوع في أماكن أدفأ لأن يفقس عن ذكور. لا يوجد تحديد الجنس عن طريق العوامل البيئية في الفقاريات حارة الدماء [ذاتية تنظيم درجة حرارة الجسد] الواضعة البيض (الطيور والثدييات الوحيدة المسلك)، ولم يوجد في الديناصورات لو أنها كانت أيضًا حارة الدماء.

يوجد تحديد الجنس عن طريق العوامل البيئية في تنوعٍ واسعٍ من الزواحف المتغيرة درجة الحرارة بالعوامل البيئية في العصر الحالي بحيث أنه قد وُجِدَ على الأرجح أيضًا في أسلافهم. لو كان الأمر كذلك، فإن تغيرًا مفاجئًا جدًّا في درجات الحرارة العالمية للكوكب كان ينبغي أن يسبِّبَ كارثةً في الزواحف المتغيرة درجة الحرارة بالعوامل البيئية في زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. لكنه لم يفعل. لم تتأثر التماسيح والترس البتةَ على الإطلاق بأحداث زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي، وتضرَّرَتْ السحالي على نحوٍ بسيطٍ فقط.

ديناصورات خطوط العرض العالية [الباردة]

عاشت ديناصورات العصر الطباشيري المتأخر في خطوطِ عرضٍ عاليةٍ جدًّا شمالًا وجنوبًا، في ألاسكا وفي جنوبي أستراليا وفي القطب الجنوبي. كانت تلك الديناصورات متكيفة على نحو جيد للتقلبات الموسمية القوية، بما في ذلك فترات الظلام ودرجات الحرارة الباردة جدًّا. لن يعلِّلَ سيناريو اصطدام كويكبٍ بسهولةٍ انقراضَ تلكَ الحيواناتِ في كِلا القطبين، بصرف النظر عن الوقت من السنة الذي اصطدمَ فيه الكويكبُ.

الطيور

نجاة الطيور هي الأغرب من بين كل أحداث زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي، لو كنا سنقبل السيناريوهات الكارثية. فالديناصورات الأصغر حجمًا تتطابق مع الطيور الأكبر حجمًا في الحجم والأدوار الإيكولُجِيَّة ككائنات بريَّة سائرة على قدمين اثنتين. كيف نجت الطيور بينما لم تنجُ الديناصورات؟ تبحث الطيور عن الطعام في الخلاء [الأماكن المكشوفة] بالبَصَرِ؛ إنها صغيرة الأحجام وحارة الدماء، وذات معدلات تمثيل غذائي عالية وتخزينات طاقة ضئيلة. حتى عاصفة مفاجئة أو شتاء قاسٍ قليلًا يمكن أن يتسبَّبَ في وفياتٍ عاليةٍ في المجموعات السكانية للطيور. رغم ذلك فإن سيناريو الاصطدام بكويكب _وفقًا للمتحمسين له المناصرين_ يتضمن "كابوسًا من الكوارث البيئية، بما في ذلك عواصف وتسوناميات وبرد وظلام وتدفئة زائدة نتيجة ظاهرة الاحتباس الحراري وأمطار حمضية ونيران عالَمية شاملة". لا بد أن هناك تفسيرًا ما لنجاة الطيور والترس والتماسيح والسحالي من أي كارثة طبيعية بهذا المقياس والمدى، وإلا فإن نماذج الكارثة خطأ.

ما رأيُنا؟

إنه لواضحٌ أن النماذج المتطرفة القصوى على الأقل خطأٌ. فإنه ليس من الواضح أن سيناريوهات اصطدام الكويكب أو الثوران البركاني يمكنها تفسير أنماط الانقراض التي نراها في سجل المتحجرات على نحوٍ كافٍ مُرْضٍ. هناك مخاوف مزعجة من أن نكون نبالغ في تأثيرات اصطدام الكويكب بسبب النتائج الواضحة للغاية في أمِركا الشمالية.

إن اصطدام كويكب أو ثوران بركاني ضخم يكون قد سبَّبَ بخلاف ذلك انقراضًا إقليميًّا فقط قد يكون سبَّبَ الانقراضَ الكبيرَ العالَميَّ في زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي عن طريق التسبب في تغيرات مناخية على المدى الأطول. كانت هذه التغيراتُ ستُسَجَّل على نحوٍ أفضلَ في رواسب المحيطات والمتحجرات البحرية. لقد تضرَّرَتْ مستعمَرات الشعاب الاستوائية بشدة في زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي، وكذلك العوالق المجهرية في المياه السطحية للمحيطات. يتوافق هذا النمط الخاص بالانقراضات البحرية في زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي مع وجود انهيار هائل في الإيكولَجِيَّة البحريّة العاديَة.

تقترح قياسات نظائر الأُكْسُجِن عبر طبقة التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي أن درجات الحرارة تقلَّبَتْ على نحو واضح في أزمنة العصر الطباشيري المتأخر وخلال أحداث التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي. علاوة على ذلك، تقترح قياسات نظائر الكربون خلال التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي أنه قد كانت هناك تقلبات شديدة سريعة ومتكررة في إنتاجية المحيطات لثلاثة ملايين سنة قبل الانقراض الكبير النهائي، وقد أعيقَتْ الإنتاجية والدورة المحيطية لعدة عشرات الآلاف من السنوات على الأقل بعد زمن التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي، وربما لمدة مليون أو مليوني سنة بعده. هذه التغيرات أمكنَها تدمير الأنظمة الإيكولُجِيَّة البريَّة وكذلك البحريّة. لقد اقترح Steve D'Hondt أن التغير المناخي هو الصلة بين اصطدام الكويكب والانقراض؛ فالاصطدام بلبل وتسبب في اضطراب المناخ العادي، مع تأثيرات بعيدة المدى والتي استمرت أكثر بكثير من النتائج المباشرة الفورية للاصطدام (انظر D'Hondt، ١٩٩٦ و١٩٩٨).

لقد كان هناك ناجون، فلم تصر أي مجموعة رئيسية من الكائنات المتعضية منقرضةً بالكامل. حتى الديناصورات نجت بمعنىً من المعاني (كطيور متحدرة من أحد فروعها). وعلى وجه الخصوص، نجت عوالق طحالب المشطورة diatoms الوحيدة الخلية[١] على نحو جيد، ربما لأن لها مراحل رُقَاد كجزء من دورة حيواتها. لقد تعافت سريعًا بنفس سرعة انبثاق النباتات البرية من الأبواغ والبذور والجذور والريزومات أو أشباه الجذور أيْ: السوق المتحولة لجذور. يُرجَّحُ أن المقاطعة أو الإعاقة المفاجِئة لسلاسل الغذاء على البر وفي البحر كانت قصيرة تمامًا، رغم أن التعافي الكامل للمناخ والأنظمة الإيكولُجِيَّة البحريَّة استغرقَ وقتًا أطولَ بكثيرٍ. من ناحية، استنتجَ واضعو نماذج المناخات القديمة وعلماء النباتات القديمة المنقرضة[٢] أن النباتات البريّة تعافت واستُعيدَتْ لدرجة الإنتاج الكامل في غضون حوالي عشر سنوات بعد الاصطدام، إلا أن D'Hondt وزملاءه يظنون أن الإنتاجية الطبيعية العادية للمياه السطحية استغرقت عدة آلاف من السنوات لكي يُعادَ إنشاؤها في المحيطات بعد عدة آلاف من السنوات. ومن ناحية أخرى، لقد استغرق الأمر ثلاثة ملايين سنة لكي تتعافى الأنظمة الإيكولوجية البحرية التامّة، ربما لأن الكثير للغاية من المفترِسات البحرية اندثرت (من القشريات والرخويات والأسماك والزواحف البحرية)، وكان يلزم استبدالها بإحلال أخرى محلها من خلال التطور من بين الناجين ذوي القرابة التطورية.

لا نزال لا نملك تفسيرًا لفَنَاءِ ضحايا الانقراض الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي، مع كون الكثير للغاية من المجموعات الأخرى نَجَتْ. ولا نعلم ما إذا كان ما سبَّبَ الانقراضَ اصطدامُ الكويكب وحده أم بالإضافة إلى تأثير الثوران البركاني الوشاحي الصهاري العمودي، ولا نعلم الروابطَ بين الأحداث الفيزيائية والنتائج البيولُجية والإيكولُجية. سيكون مدهشًا لو أن الاصطدام لم يلعب دورًا، وسيكون مدهشًا لو أن الثوران البركاني لم يلعب دورًا.

ربما حدثت الشِدَّةُ الغير عادية الخاصة بانقراض التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي ومداه العالمي والسمات البيولُجِيَّة المفاجئة الدِرامِية له مثل ارتفاع نسبة أبواغ السرخسيات بسب أن اصطدام الكويكب والثوران البركاني حدثا عندما كانت الأنظمة الإيكولُجِيَّة العالَمِيَّة قابلة للتضرُّر على نحوٍ خاصٍّ بفعل إعاقة ومقاطعة الاستقرار المحيطي [الخاص بالمحيطات والحياة فيها]. سوف نحصل على الأرجح على منظورٍ أفضَلَ بخصوص التخم الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي عندما نجمع معلوماتٍ أكثرَ بخصوص انقراضات التخم البِرْمِيّ– الترياسيّ. ربما تتطلب الانقراضات الجماعية الكبيرة أيضًا وضعًا تكتونيًّا [خاصة بتحركات القشرة الأرضية وتشكلاتها] أو جغرافيًّا يجعلُ الأنظمة الإيكولُجِيَّة العالَمية عُرْضةً للتضرُّر.

---

١ المشطورة أو الدياتوم diatom: طحلب بحري أو نهري مجهري أحادي الخلية جدرانه مشبعة بالسِلِكا.

٢ paleobotanists علماء المتحجرات النباتية، وعلم المتحجرات النباتية Paleobotany or Paleophytology يختص بدراسة الأحافير النباتية ومعرفة فصائلها وخصائصها وأصنافها وبيئة تواطنها وتوزيعها في الصخور زمنيًا وجغرافيًا وطرق الإستفادة منها في تقدير أعمار الصخور ومضاهاة بعضها ببعض.

الفصل السابع عشر

ثدييات حقبة دهر الحياة الحديثة، النشأة والطوائف الاعتياشية guilds أو طرق الاعتياش والنزعات

مُيِّزَتْ وُحدِّدَتْ نهايةُ العصر الطباشيري بتغيراتٍ كثيرةٍ للغاية في الحياة على البر وفي البحر وفي الهواء والتي عيَّنَتْ أيضًا نهايةَ دهرِ الحياةِ الوسطى وبدايةَ دهرِ الحياة الحديثة (الذي نعيش فيه). تزايدت أنواع الناجين من انقراضات العصر الطباشيري تدريجيًّا إلى مجموعة متنوعة مثيرة للإعجاب من الكائنات المتعضّية، بداية من عصر الباليوسين [الفترة القديمة من دهر الحياة الحديثة، الحديث الأسبق][1]، وهو أول ١٠ ملايين سنة من دهر الحياة الحديثة. في سجل المتحجرات البحرية، يهيمن على دهر الحياة الحديثة الرخويَّاتُ وخاصةً ذوات الصدفتين أو المصراعين وبطنيات الأقدام، والبطلينوس والحلزونات الخاصة بمجموعات الأصداف الشاطئية.

وعلى البر، تميَّزَ دهرُ الحياةِ الحديثة بهيمنة النباتات المُزْهِرة والحشرات والطيور، وتميَّزَ على الأخص بتشعب الثدييات من آكلات حشرات ضئيلة غير هامة إلى حيوانات كبيرة الأحجام مهيمنة في كل الأنظمة الإيكولُجِيَّة البريَّة تقريبًا. لثدييات دهر الحياة الحديثة سجل متحجرات جيد جدًّا. توجد آلاف من متحجرات الهياكل العظمية المحفوظة جيدًا [والتي هي معروضة ومخزونة في متاحف العالَم]، ونحن نفهم تاريخَها التطوري على نحو جيد جدًّا. لن أسعى لتقديم أي شيء مقارب لتغطية إجمالية لتطور الثدييات. بدلًا من ذلك، سأستعمل سجل متحجرات الثدييات لتوضيح الطرق التي عمل بها التطورُ على الحيوانات، لأن نفس النتائج يمكن رؤيتها (على نحو أقل وضوحًا) خلال باقي سجل المتحجرات.

التطور هو النتيجة الإجمالية للعوامل البيئية العاملة على الكائنات المتعضّيَة من خلال الانتخاب الطبيعي. لكنْ يكون فهم العمليات التطورية أسهل إن استطعنا عزل بعض الجوانب المختلفة المتضمَّنة. في هذا الفصل والذي يليه سأصفُ كيف تطورَّتْ المجموعاتُ المتعاقبة من الثدييياتِ لتحلَّ محل الديناصورات، وأناقش بعض الأحداث التطورية الرئيسية الخاصة بدهر الحياة الحديثة. سأنظر إلى جوانب رئيسية خاصة بالتطور أثناء تفحصي لثدييات دهر الحياة الحديثة، وفي كل حالة سأحاول تحديد الفرص العديدة التي سمحت للتغير التطوري أو شجعته على الحدوث، وهي:

– الخلفية الإيكولُجية للتطور؛ و
– تحسن أو تغير التكيفات واضحة المعالم، و
– التأثيرات الجغرافية على التطور، و
– التأثيرات المناخية على التطور.

تتمثَّل معظم الانقلابات في سجل المتحجرات في الإحلال الإيكولُجيّ لمجموعةٍ من الحيوانات بأخرى. فقد تندثر مجموعةٌ أقدمُ _لأسبابٍ عديدة_ مانِحةً فرصةً إيكولُجيَّةً لمجموعة جديدة من الأنواع والتي تتطور وتحل محل المجموعة الأقدم. وأحيانًا تتغلب المجموعةُ الجديدةُ في التنافس على المجموعة الأقدم، بحيث نرى ليس فقط إحلالًا أو استبدالًا إيكولجيًّا بل إزاحة إو إزالة إيكولوجية. وهناك الكثير من الأمثلة على التطور المتلاقي [أو المتناظر أو المتوازي أو المتقارب]، والذي تتطور فيه أنماطٌ جسدية معينة ملائمة جيدًا على نحو واضح لطريقة حياة معينة مرارًا وتكرارًا في قارَّات مختلفة في أزمنة مختلفة في مجموعات مختلفة. يساعدنا فهمُ هذه العملياتِ على تصنيف الفهارس المعقدة للمتحجرات.

ثم ننظر إلى ظاهرة ذات مقياس أصغر، وهي التطور بالتحسن. فبالنظر إلى أن تخطيط جسد معيَّن يكون مناسبًا على نحو جيد لممارسة طريقة حياة معيَّنة، فإننا كثيرًا ما نرى تشريحًا متغيّرًا عَبْرَ الزمنِ في مجموعة مفردة من الكائنات المتعضّية. كثيرًا ما يمكن تفسير هذه التغيُّرات التطورية كسلسلةٍ من التكيفات المتحسّنة بتزايد مع الطريقة المميَّزة للاعتياش، أو كمجموعة من التكيفات البديلة مع الطريقة العامّة للاعتياش. يمكن أن يؤدي التطور المشترك _كما في سباق التسلح بين المفترِسِين والفرائس، أو كما في العلاقة بين النباتات وآكلات النباتات، أو كما بين النباتات والمُلَقِّحين_ إلى تكيفٍ فعّالٍ على نحو متزايد. يستطيع المرءُ أن يتعقَّبَ في مجموعةٍ ناجحةٍ طويلةِ البقاءِ التكيفاتِ العديدةَ التي أدَّتْ في النهاية إلى الصفات المشتقَّة المتطوّرة الخاصة بالناجين.

على نحوٍ واضح، يجب أن يمتلك المرءُ أولًا فكرةً جيّدةً عن العلاقات التطورية ضمن المجموعة (بتعبيرٍ آخر: رسم شجرة تطورية موثوق به). في كل الحالات تقريبًا، لا يكُوْنُ النمطُ التطوريُّ والتكيفيُّ لمجموعةٍ خطًّا مستقيمًا بل مسارًا متعرّجًا منحنيًا عَبْرَ الزمنِ. لكنَّ محاولةَ تعقُّبِ نسبٍ تطوريٍّ من خلال تعقيد التطور يمكن أن يكون منوِّرًا مُرشِدًا، موضِّحًا كيفية توافق التكيفات مع الفرص البيئية.

---

[1] أول عصر من عصور الباليوجين.

تطور ثدييات حقبة دهر الحياة الحديثة

المجموعتان الناجيتان الرئيسيتان للكائنات البريَّة بعد انقراض العصر الطباشيري كانت الثدييات والطيور. أما التمساحيَّات فكانت [ولا تزال] برّمائية الحياة وليست بريَّة. لقد كان قبل ذلك معظم ثدييات دهر الحياة الوسطى آكلي حشرات صغار الأحجام، على الأرجح ليليي الاعتياش، والكثير منهم كان ساكنًا للأشجار أو الجحور، وكانوا في العادة ذوي أطراف متكيفة للهرولة والفرار الرشيق وليس للجري السريع. يجب على الطيور الطائرة أن تكون صغيرة الأحجام، لكن ليس هناك نفس هذا القيد على الطيور الأرضية [الساكنةِ الأرضَ الغيرِ طائرةٍ]. لقد كان هناك على الأرجح تنافسٌ شديدٌ بين الطيورِ الساكنةِ الأرضَ والثدييات في نوعٍ من السباق التنافسي الإيكولُجِيّ على طرق اعتياش أحجام الأجساد الكبيرة خلال عصر الباليوسين، مع لعب التمساحيَّات دورًا ثانويًّا هامًّا في بعض المناطق. لقد تطورت الثدييات على نحوٍ انفجاريّ، وارتفع تنوعهم من ٨ فصائل إلى ٧٠ فصيلة.

تشعُّب الثدييات والدراسات في البيولوجِي الجُزَيئية

يقترح سجل المتحجرات أنه كان هناك "تشعُّبٌ انفجاريٌّ" ضِمْنَ الثدييات في دهر الحياة الحديثة المبكّر. هذا نال تفسيرًا جاهزًا والذي استعملتُه في الفصل ١٥: لقد كانت الديناصورات مهيمِنةً على الأنظمة الإيكولُجِيَّة البريَّة على مستوى العالَم لمدةٍ أكثرَ من مئة مليون عام، وكانت قد أعاقت وقمعت على نحوٍ فعَّالٍ أيّ تشعبٍ إيكولُجِيّ لثدييات دهر الحياة الوسطى، ومع اندثار الديناصورات (الغير الطيرية، يعني ما عدا الطيور)، صارت أدوارٌ إيكولُجِيَّةٌ متاحةً فجأةً متاحةً للثدييات والطيور، وكان حدوثُ تشعُّبٍ تكيُفيّ دراميّ استجابةً مُتوقَّعةً للفرصةِ الإيكولُجِيَّة. بينما نرى في صخور العصر الطباشيري السابق على ذلك القليل جدًّا من الثدييات الذين كانوا كلهم صغار الأحجام.

لكنْ هل كان ذلك التشعُّب الانفجاري انفجارًا تطوريًّا جينيًّا أم كان انفجارًا إيكولُجيًّا؟ فربما كانت المجموعات المختلفة للثدييات قد تباعدت جينيًّا قبل ذلك، عندما كانت أحجام أجسادها صغيرة، منذ زمن طويل قبل نهاية العصر الطباشيري، لكنها حُرّرَت إيكولُجِيًّا بعد انقراض العصر الطباشيري- التريتاري. (لاحظ أن هذا السؤال هو بالضبط نفس السؤال الذي سألناه في الفصل ٤ بخصوص تشعب الميتازويَّات [البَعْدِيَّات، الميتازوا] في العصر قبل الكامبري فيما يتعلَّقُ بانفجار العصر الكامبري التطوري.

كيف نستطيع رصد ووصف تشعُّبٍ لخطوط الأنساب التطورية الرئيسية للثدييات في العصر الطباشيري؟ نستطيع النظر بعنايةٍ أكثرَ إلى ثدييات العصر الطباشيري، لنحاول العثورَ على سماتٍ متقدّمةٍ بينهم. لكن سجل متحجراتهم الخاص بهذا العصر هزيل ورديء جدًّا لدرجة أن هذه الأطروحة صعبة جدًّا. على كل حالٍ، لو كانت أسلاف الأحصنة _مثلًا_ ذوات حجم كحجم الفئران، فإنها ما كانت ستبدو ولا ستأكل ولا ستجري ولا ستتصرف مثل الأحصنة، بالتالي فإنها كانت تفتقد أيضًا معظم سمات الهيكل العظمي التي نستعملها للتعرُّف على الأحصنة. أما علم الوراثة أو الجينات فليس علم الإيكولُجِي. الأطروحة البديلة هي النظر إلى الأدلة الجُزيئية [من علم الأحياء الجُزَيئية].

يقترح علم الوراثة أو الجينات الجزيئي أنه تحت ظروف معيَّنة، يمكن أن تكون التغيرات [الطفرات] في الـ DNA [الحمض النووي مزدوج الجديلة منزوع الأكسجن] والبروتينات محايدة من الناحية الانتخابية، غير متأثِّرة بالانتخاب الطبيعي. ينبغي أن تلك التغيرات الجزيئية تحدث بمعدل عشوائي ثابت عبر الزمن. من الناحية النظرية، يمكن أن تُمَكِّنَنَا تلك الساعات الجُزَيئية الخاصة بالتغيرات التطورية [التطفرية المحايدة] _بناءً على البروتينات أو جينات معيَّنة أو تسلسلات الـ DNA من أنوية الخليّة أو الميتوكندريا [الميتوكندرياوات]_ من تحديد أزمنة التباعد التطوري الخاص بالحيوانات الحيّة المعاصرة بدون الحاجة البتةَ للنظر في أو البحث عن متحجرات أسلافهم.

كثيرًا ما يتعارض مفهوم ضرورة وجود ساعات جزيئية مع حقائق سجل المتحجرات، رغم أنه مفهوم مكَّنَ علماء الجينات من نشر الكثير من الأوراق البحثية سريعًا واللاتي هي جوهريًّا لم تضِف أيَّ شيءٍ لفهمنا بل أضافت المزيد من الإرباك لنا. يقبَلُ معظمُ علماءِ الجينات حاليًّا أن الساعات الجزيئية لا تنتظم على نحوٍ موثوقٍ به يمكن الاعتماد عليه، ووجدوا طُرُقًا لتحليل بياناتهم تستبعد ذلك الافتراضَ. لقد صارت نتائجهم أكثر توافقًا بكثير مع سجل المتحجرات الحقيقي الواقعي، وفي النهاية صار علم الجينات مفيدًا جدًّا في حد ذاته كتكملة رائعة لعلم تشكل المتحجرات أثناء محاولتنا لمعرفة تاريخ مجموعات الكائنات المتعضِّية التطوري.

فلنعُدْ إذن إلى مسألة تحديد زمن تشعب الثدييات. إن تشعب الثدييات في عصر الباليوسين [الحديث الأسبق] الذي نراه في سجل المتحجرات حدث كما يظهر بسرعة للغاية لدرجة أننا لا نميِّز العددَ الكبيرَ من الفروع التي أدَّتْ إلى التنوع الكبير الخاص بالمجموعات الرئيسية للثدييات الحية المعاصرة. بينما في نفس الوقت يرسم علم الجينات الجزيئي صورةً مليئة بالحيوية لأحداث التفرع المبكر في الثدييات المشيمية والجِرابِيَّة الخاصة بالعصر الطباشيري. هل هاتان الرؤيتان منسجمتان؟ الإجابة هي "نعم".

تشعب الثدييات ونتائج علم الأحياء أو البيولُجِي الجزيئيّ

مجرَّدة من افتراضات "الساعة" الجزيئية الدقيقة، فإن الكثير من نتائج أبحاث البيولُجِي الجزيئية معقولة (أيْ أنها تتفق مع أدلة المتحجرات!)، مما يعطي ثقةً في المناهج والطرق المتَّبَعة. بالتالي، تقع الجِرابِيَّات ووحيدات المسلك الإخراجي دائمًا تصنيفيًّا خارجَ المجموعاتِ التي تمثِّل الثدييَّات المشيميّة. مع ذلك، جاءت بعض النتائج بخصوص المشيميَّات مفاجِئةً. وبعضها مثير جدًّا، لأنها تعطي معارفَ وتبصُّراتٍ بتشعُّبِ الثدييّات لم تكن قد اكتُشِفَتْ بالمقارنة البِنْيويَّة [المورفولُجِيَّة] العاديّة.

لقد علمنا في الفصل ١٥ أن الوسائل التقليدية في علم المتحجرات تُحدِّد أصلًا جنوبيًّا (قارة جُنْدوانا العتيقة) للثدييات الوحيدة المسلك من ثدييات مصنَّفة كذلك على أساس المنبت التطوري (من ذوات صفات ثديية mammaliaforms)، وأصل شمالي (لوراسيا) للوحشيَّات (الجِرابيَّات والمشيميَّات). لكن الوسائل الجزيئية برهنت على مجموعة أخرى من الأحداث البارزة كنقاط تحول في تاريخ الثدييات. فمبكرًا في العصر الطباشيري، وصلت الجِرابيات والمشيميات إلى قارة جُنْدوانا عندما كانت تنقسم، وأسَّسوا خطوط نسب تطورية هناك، أحدها في أفريقيا واثنين في أمِرِكا الجنوبية، والتي تطورت في تلك المناطق على نحو منفصل عن تطور الثدييات في كل الأماكن الأخرى.

لقد أقامت الجِرابيات في أمِرِكا الجنوبية لزمن طويل، وقد وصلوا إلى أستراليا عبر القارة القطبية الجنوبية على نحو يقيني تقريبًا قبل أن يتجمَّدَ القطب الجنوبي.

وما هو أكثر أهميةً، أن مجموعة كبيرة من المشيميات الأفريقية _وهي الوحشيات الأفريقية Afrotheria_ تمثِّل فرعًا تطوريًّا منفصلًا عن باقي المشيميات. يتضمن هذا الفرعُ في العصر الحالي الأفيالَ وأبقار البحر [الأطوم وخراف البحر] والوَبْر [أو الزَلَم وهو حيوان بحجم الأرنب ذو حوافر] وخنزير الأرض [أو أبا ذقن، وهو حيوان ثديي أفريقي آكل للنمل الأبيض] وحيوانات الزباب الفيلي elephant shrews[1] وحيوانات الخلد الذهبي golden moles[2]. فهو تنوع هائل من مختلف خطط الأجساد ولأحجام والأدوار الإيكولُجِيّة. لقد دَعمَتْ حقيقةَ هذا الفرع كل الأدلة الجزيئية بالإجماع، ومع ذلك لم نكن قد اكتشفنا _وعلى على الأرجح لم نكن سنكتشف قط_ هذا الفرع التطوري بدراسة الهياكل العظمية للمتحجرات. إن حقيقة الوحشيات الأفريقية تدل على أن أفريقيا صارت معزولةً في زمن العصر الطباشيري وبها مجموعة من المشيميات المبكرة التي تطورت لتشغَل كل تلك الأدوار الإيكولُجِيّة، منفصلين عن التطور في القارّات الأخرى، في حالة مدهشة للتشعب التكيفي. سوف أعود إلى هذه القصة في الفصل ٢٠.

---

١ elephant shrews حيوانات الزباب الفيلية أو القافزة، الزباب ذو الخطم المستطال. وهي ليست حيوانات زباب حقيقية فهي من فصيلة ورتبة مختلفتين، وهي ثدييات آكلات حشرات صغيرة الحجم أفريقية لها خطم طويل جعلها تكتسب هذا الاسم ولها رجلان خلفيتان طويلتان وأذنان كبيرتان.

٢ golden moles آكلات حشرات صغيرة الحجم متوطنة في أفريقيا الجنوبية، وتسمى بالأفريقانية gouemolle or kruipmolle، وهي مختلفة التصنيف عن حيوانات الخلد الحقيقية، فالخلدان الذهبية من رتبة الشبيهات ظاهريا بحيوان الزباب أو زبابيات الشكل Afrosoricida والتي تضم أيضًا الحيوان المدغشقري Tenrec، وكلاهما من رتبة عليا Chrysochloridea، في حين تنتمي حيوانات الخلد الحقيقية إلى فصيلة الطوبينيات Talpidae من رتبة Eulipotyphla وتعني العمياوات السمينة وهي رتبة تضم كذلك القنافذ والسولندُن Solenodon أو ذا الأسنان المشقوقة والدسمان Desman وgymnure أو moonrat. وهي مثال على التطور المتناظر المتقارب مع حيوانات الخلد الحقيقية.








وثانيًا، اتضح أن فرعًا تطوريًا أمِركيًّا جنوبيًّا للثدييات المشيمية _والذي كان معروفًا منذ فترة طويلة_ له جذور عميقة جدًّا. تظهر غريبات المفاصل [ذوات المفاصل الفقرية الإضافية الغريبة التي لا توجد في أي ثدييات أخرى] أو الدرداوات أو الثدييات القليلات الأسنان Xenarthra[1] or Edentata _والتي تتضمن حيوانات الكسلان والمُدَّرعات armadillos الحية المعاصرة (والكثير من الثدييات المنقرضة)_ أيضًا على نحوٍ بارزٍ في التحليل الجزيئي.





تُصَنَّف باقي المشيميات كفرع تطوري شمالي، والذي وفقًا لأدلة علم الجينات والبيولُجِي الجزيئية_ ينقسم إلى مجموعتين، أحدهما أسلاف ذوات الحوافر واللواحِم المفترسة والخفافيش، والآخر أسلاف الرئيسيات والقوارض.

متى حدثت هذه التفرعات؟ باستعمال الافتراضات التي لا تتضمّن "الساعة" الجزيئية التامَّة الدقة، فنتائج الأبحاث الجزيئية تتضمَّن أن الوحشيات الأفريقية أصبحت منفصلةً منذ حوالَيْ ١٠٥ مليون سنة (العصر الطباشيري الأوسط) والدرداوات منذ حوالي ٩٥ مليون سنة. تتطابق هذه التقديراتُ تقريبًا مع

[1] Xenarthra or Edentata غريبات المفاصل، ذوات المفاصل الفقرية الإضافية الغريبة التي لا توجد في أي ثدييات أخرى. وكانت تسمى سابقاً الدرد أو اللاضرسيات أو عديمات الأنياب (باللاتينية: Edentata)) هي طبقة من الحيوانات تتبع صنف الوحشيات من طائفة الثدييات. وهي مجموعة من الثدييات القليلة التي لا يوجد لها أسنان وان وجدت في بعضها فهي قليلة جدا. أما من حيث مناطق انتشارها فان هذه الحيوانات تنتشر في قارتي أمريكا. وتضم ثدييات مشعرة هي دب النمل الأكل للنمل والكسلان ثلاثي المخالب والكسلان الثنائي المخلب وثدييات مدرعة هي المدرع أو الأرماديلو.

الانقسام الكبير لقارة جُنْدوانا العتيقة لتُكَوِّنَ القارَّاتِ الجنوبيةَ، وبما أن الأدلة الجزيئية البيولُجية والأدلة الجيولُجية مستقلة عن بعضها تمامًا، فهذا مجدَّدًا يضيف إلى مصداقية التحليل.

انقسمت المشيميات الشَمالية إلى فروعها التطورية الرئيسية خلال العصر الطباشيري المتأخر، بحيث نجى حوالي ٢٠ خط نسب تطوري أو نحو ذلك من انقراض العصر الطباشيري– الترياتاري لتتشعَّب في عصر باليوسين [الحديث الأسبق]. وبينما كثيرٌ من علماء المتحجرات سعداء راضين *بأنماط* هذه النتائج للأبحاث الجزيئية، فإنهم يتشكَّكون في أن تكون الاستدلالات بخصوص تحديد زمن التفرعات موثوقًا بها.

ربما يكون للجدال حل بسيط. إن النتائج الجزيئية تقيس التغير الجيني. إنها لا تقيس ولا تستطيع أن تقيس التغيرات الإيكولُجِية [الخاصة بطرق الاعتياش]. بالتالي فقد *كان* هناك على الأرجح جدًّا تفرعات جينية عميقة في العصر الطباشيري، لكنها أنتجَتْ مجموعاتٍ من ثدييات العصر الطباشيري مقيَّدة محصورة إيكولُجيًّا، بالتالي كانت مقيَّدة تشريحيًّا أيضًا. لا توجد قاعدة تقول بأن ثدييات العصر الطباشيري ينبغي أن تكون قد كانت تبدو مثل أو لها أدوار إيكولوجية مماثلة لمتحدريها التطوريين النهائيين الخاصين بالعصر الحالي، أو حتى الخاصين بأزمنة دهر الحياة الحديثة. للتعبير عن الأمر ببساطة: لقد تطورت المجموعات الرئيسية الخاصة بالثدييات المشيمية (تباعدت تطوريًّا أحدها عن الآخر) في النصف الأخير من العصر الطباشيري. ربما قد بدأ تشعبها إلى فصائل وأجناس كثيرة في العصر الطباشيري المتأخر لكنه كان عملية حدثت على نحو رئيسي في العصرين الباليوسيني [الحديث الأسبق أو الأقدم] والإيوسيني [فجر الحديث، ثاني عصور دهر الحياة الحديثة بعد الباليوسيني]، حادِثًا كتشعُّبٍ *إيكولُجيٍ*. رغم ذلك، فلا تزال هناك متحجرات ثدييات من العصر الطباشيري لاكتشافها ودراستها وتحليلها ووضعها في الإطار العام، وبما أن جغرافيا العالم كانت تتغير في العصر الطباشيري عندما كانت تحركت القارات مغيِّرةً أماكنَها، فإنه لا تزال هناك فرص لاختبار الأفكار العلمية بخصوص التباعد [الانفراج، التشعب] التطوري في مقابل الأدلة الجيولُجية.

بحلول نهاية العصر الطباشيري كانت هناك ثدييات ذوات مجموعات مختلفة من الجينات لكنها كانت معاقة مقموعة من التنوع في التشريح والبنية. إن المبدأ واضح. والآن ينبغي على العلماء المنخرطين في البحث أن يخفِّفوا من النبرةِ البَلاغية الخطابية ويسعوا لمعرفة وفهم ما قد حدث في الحقيقة!

فلنعُدْ الآنَ إلى سجل المتحجرات والذي _فلنتذكَّرْ_ يحتوي على الكثير من الفروع التطورية المنقرضة التي لعبت أدوارًا رئيسية في التطور والإيكولُجيَّة، لكن لا يمكن تقديرها بالتحليل الجزيئي.

عصر الباليوسين Paleocene[١] [الحديث الأقدم]

بحلول أزمنة عصر الباليوسين، تضمَّنَتْ الثدييات المشيمية الأسلافَ الممكنَ تمييزُها الخاصةَ بمجموعاتٍ حية كبيرة، بما في ذلك الجِرابِيات والزَّبَاب والأرانب واللواحم المعاصرة الحديثة والأفيال والرئيسيات والحيتان والقنافذ. وكانت أسلاف مجموعات الحياة الحيوانية المميَّزة الخاصة بأمِركا الجنوبية معزولة من قبلُ جغرافيًّا، ويمكن تمييز متحجراتها هناك.

من بين كل ذلك التنوع، كانت المجموعة المهيمِنة من ثدييات عصر الباليوسين [الحديث الأقدم] هي مجموعة من "ذوات الحوافر" المبكرين السريعي التطور العامِّي الصفات، كان معظمهم عواشبَ آكلي نباتات ذوي أحجام متعددة. لكن كان للـ arctocyonids[2] الأركتوكيونيات جماجم منخفضة طويلة

---

١ الباليوسين Paleocene:أول عصر من عصور دور أو قسم الباليوجين أو العصر القديم من دهر الحياة الحديثة. وهو الحقب الأول من الدور الجيولُجي الثالث Tertiary، وامتد ما بين ٦٥ إلى ٥٥ مليون سنة ماضية.

٢ Arctocyonidae الأركتوكيونيات، فصيلة منقرضة من الثدييات الغير متخصصة، ثدييات بدائية لها أكثر من ٢٠ جنسًا. كانت في أكثر وفرة لها في عصر الباليوسين، لكنها انقرضت فيما بين الطباشيري المتأخر والإيوسيني المبكر (٦٦ إلى ٥٠ مليون عام ماضٍ). يُعتقد أنها سلف للرتبتين Mesonychia [متوسطات المخالب] ومزدوجات الأصابع وأسلاف الحيتان مزدوجة الأصابع (Cetartiodactyla (Artiodactyla. وقد اقتُرِح مؤخرًا وجود قرابة تطورية وثيقة مع اللواحم Carnivora، وإن صح هذا تكون الأركتوكيونيات أعضاء في الفرع التطوري للأوابد Ferae وليس في ذوات الحوافر ungulates على الإطلاق. كان لأسنان الأركتوكيونيات أنياب كبيرة وأسنان حادة نسبيًّا وكانت مشابهة ظاهريًّا بالتالي للخاصة باللواحم carnivores المعاصرة. رغم ذلك فأسنان الأركتوكيونيات لم تكن متخصصة في تقطيع اللحم، فكانت تلك الحيوانات على الأرجح قارتة وهي بالتأكيد أدنى العواشب في تصنيف اللقمانيات أو ذوات مفاصل الأصابع condylarths. وكان لهم أطراف قصيرة نسبيًّا افتقدت التخصصات التخصصات المعروفة في ذوات الحوافر ungulates (كمثال: اختزال أصابع الأرجل الجانبية

ذوات أنياب وضروس بداية، وكانوا على الأرجح قارتين [يأكلون النباتات واللحوم] شبيهين بالراكون. كان لـ Chriacus[1] (الصورة ١٧– ١) نفس حجم وبنية جسد القوطي coati [حيوان أمركي صغير لاحم] المتسلق الأشجار تقريبًا. لكن Arctocyon أركتوكيون [يعني اسمه الشبيه بالكلب والدب][2] نفسه [الذي اشتُقَّ اسم الرتبة منه] كان بحجم دبٍّ وعلى الأرجح كان له نفس الإيكولُجِيَّة القارِتِيّة [القَرْتِيَّة] تقريبًا. وكانت الـMesonychids [يعني اسمها المتوسطات المخالب][3] لواحم أو متقممين شبيهين بالقُضاعة [ثعلب الماء، كلب الماء]، لكن البعض منهم كانوا مفترِسين راكضين جيدين على البر.

والعظام المدموجة والحوافر). وكان لهم ذيول ثقيلة. يجعل تركيبهم الجسدي البدائي من غير المرجَّح أنهم كانوا قادرين على مطاردة الفرائس، لكن لعلهم بمناسيب أجسادهم ومخالبهم وأنيابهم الطويلة كانوا قادرين على التغلب على الحيوانات الأصغر حجمًا بالهجمات المفاجئة. كانت الأركتوكيونات أكثر الثدييات شيوعًا وانتشارًا في أورُبا في عصر الباليوسين. ولقدعُثِر على أركيوكيونات بدائية أولية مثل Prolatidens في طبقات عصر الباليوسين المبكر في Hainin في بلجيكا. ومن هناك تطورت تلك الفصيلة إلى تنوعٍ واسع من الأجناس، بما فيها الجنس أركتوكيون (يُعرَف كذلك أومشابه لـ Claenodon في أمِركا الشمالية. كان الجنس Chriacus الذي عثر على متحجرةٍ هيكل عظمي شبه كامل له أركتوكيونيًّا مبكرًا وأحد أصغرهم حجمًا، في Wyoming بأمِركا. كان لهذا الكائن الشبيه بشكل الراكون عضلات أطراف قوية وذيل طويل قوي ربما كان ذا قدرة على الإمساك بالأشياء. وكان قادرا على التوازن فوق الأشجار والحفر، فكان متكيفًا للحياة فوق الأشجار وعلى الأرض. في حين قضت الأركتوكيونيَّات الكبيرة معظم عمرها على أراضي الغابات، لكن ربما كانت قد ظلت قادرة على تسلق الأشجار. يمكن افتراض أنها تولت جزئيًّا دور المفترسين الكبار الأحجام بالتشارك مع مجموعات أخرى مشابهة في مستعمَرات الحياة الحيوانية في عصر الباليوسين ، مثل فصيلتي الثدييات triisodontids وmesonychids [متوسطات المخالب] المنتميتان لفصيلة متوسطات المخالب Mesonychia. تضمنت الأركتوكيونيَّات الكبيرة الأحجام الجنس أركتوكيون Arctocyon الذين كان يحمل كل الصفات المميِّزة لفصيلته بكاملها. كان لهذا الحيوان القوي ذي حجم الدب مشية على أخمص القدم وهو من تصنيف ذوات الحوافر، كان ذا أطراف قصيرة، وبأقدامه مخالب وله ذيل طويل. وكان له جمجمة طويلة مُعَدَّة بعُرف سهمي sagittal crest وأنياب كبيرة، وخاصة في الفك السفلي. وكان له ضروس مدملَكة منخفِضة التتويج (مستديرة الحدبات) شبيهة بالخاصة بالدببة المعاصرة، ويحتمَل أنه كان له نظام غذائي قارتي مشابه. أما الجنس Mentoclaenodon فكان أكبر حجمًا من كل الأجناس المعروفة ونزع لتطوير أنياب مشابهة للخاصة بالقطط الكبيرة [القططيات أو السنوريات كالأسود والفهود والنمور والوشق والضباع].

١ Chriacus يعني اسمه المفيد!

٢ Arctocyon أركتوكيون [يعني اسمه حرفيًّا: الشبيه بالكلب والدب، وهو حيوان منقرض قارت من ذوات الحوافر ungulate.

٣ Mesonychia أو ذوات المخالب المتوسطة هي فئة تصنيفية لذوات حوافر لاحمة صغيرة إلى متوسطة الحجم منقرضة، ذات قرابة تطورية مع الحيتانيات [أسلاف الحيتان والدلافين والخنازير البحرية وأفراس النهر]. ظهرت أولًا في عصر الباليوسين المبكر، ثم انحدرت واضمحلت بشدة عند نهاية عصر الإيوسين، وانقرضت بالكامل عندما انقرض آخر جنس منها وهو Mongolestes في العصر الأُلِجوسيني المبكر. لقد شابهوا الذئاب ظاهريًّا. لقد سارت متوسطات المخالب المبكرة على أخامص أقدامها (راحات أقدامها) كالإنسان والدببة (plantigrade)، بينما سار اللاحقون منهم على أصابعهم (digitigrade). كان لتلك المتوسطات المخالب اللاحقة حوافر أي أظلاف، واحدة على كل إصبع، بأربع اصابع في كل قدم. يرجَّح أن متوسطات المخالب نشأت في الصين، حيث عُثر على أكثرها بدائية وهو Yangtanglestes من طبقة الباليوسيني المبكر. ولقد كانوا أيضًا أكثر تنوعًا في آسيا، حيث وُجِدوا في كل مستعمَرات الحياة الحيوانية الكبيرة الخاصة بعصر الباليوسين. وحيث أن الـ creodonts [المفترسات العتيقة] والـ condylarths [ذوات مفاصل الأصابع أو اللقمانيات] كانوا إما نادرين أو غائبين عن تلك المجتمَعات الحيوانية، فقد هيمنت متوسطات المخالب mesonychids على الأرجح جدًّا على دور المفترِسين الكبار الأحجام في عصر الباليوسين في شرقي آسيا. لقد استطاع أحد أجناسها وهو Dissacus الانتشار إلى أورُبا وأمِركا الشمالية بحلول عصر الباليوسين المبكر. وقد كان Dissacus لاحمًا بحجم ابن آوى وقد وُجِدَت متحجراتُه عبْر كل نصف الكرة الأرضية الشمالي، لكن النوع المتحدر منه وهو Ankalagon _من عصر الباليوسين المبكر إلى الأوسط في نيو مكسيكو_ أكبر حجمًا منه بكثير، فقد نما إلى حجم دب. وقد دخلت أنواع الجنس اللاحق زمنيًّا Pachyaena أمركا الشمالية بحلول عصر الإيوسين المبكر، حيث تطوروا هناك إلى أنواع ضخمة الأحجام فاقت حتى Ankalagon حجمًا. كانت ذوات المخالب المتوسطة أكبر ثدييات مفترِسة في أمركا الشمالية خلال عصر الباليوسين المبكر إلى الإيوسيني الأوسط. في أثناء حيواتهم، كانت ذوات المخالب المتوسطة يشبهون ظاهريًّا الكلبيَّات. كان لذوات المخالب المتوسطة المبكرة خمس أصابع في كل قدم، والتي استقرت مسطحة على راحتها أثناء المشي على الأرجح (مشية أخمصية السير)، لكن اللاحقين زمنيًّا منهم كان لهم أربع اصابع تنتهي بحوافر ضئيلة على كل إصبع وكانوا متكيفين على نحو متزايد للجري. وكالأنواع الراكضة من ذوات الحوافر مزدوجة الأصابع فقد سارت ذوات المخالب المتوسطة على أصابعهم، مثلًا النوع Pachyaena. كانت هذه "الذئاب السائرة على حوافر" على الأرجح إحدى أهم المجموعات المفترِسة في الأنظمة الإيكولُجِية الخاصة بعصر الباليوسين المتأخر والإيوسيني في أورُبا (التي كانت أرخبيل جزر آنذاك) وآسيا (التي كانت قارة جزيرية) وأمِركا الشمالية. تألفت تراكيب أسنانهم للقيام بتقطيع عمودي، وضروس سفلية شبيهة بالأنصال الرفيعة، وأثلام قاطعة للحم، لكنها ليست أسنان قاطعة للحم حقيقية carnassials. كانت الضروس مضغوطة جانبيًّا وكثيرًا ما كانت ثلماء (غير حادة)، وكانت تُستعمَل على الأرجح لتقطيع الطعام أو سحق العظام. يُشك أن الكثير من أنواعها كانت آكلة للأسماك، وتُعتبَر أكبر أنواعها متقممة. أما عن التصنيف التطوري والشجرة التطورية فقد اعتُبِرَت ذوات المخالب المتوسطة من الـ creodonts [أكلات اللحم العتيقة] لفترة طويلة، لكنها الآن أزيلت عن هذه الرتبة ووُضِعت في ثلاث فصائل (Mesonychidae, Hapalodectidae, and Triisodontidae)، وتوضع إما في رتبة خاصة بها هي Mesonychia [ذوات المخالب المتوسطة]، أو ضمن الرتبة اللقمانيات أو ذوات مفاصل الأصابع Condylarthra كجزء من الرتبة الفرعية وحشيات لوراسيا Laurasiatheria.. كانت كل متوسطات المخالب mesonychids تقريبًا أكبر حجمًا من معظم آكلات اللحم الـ creodonts and miacoid. يشار أحيانا إلى رتبة متوسطات المخالب بمصطلح اسم Acreodi، لأن مصطلح mesonychid صار يشير تحديدًا إلى أنواع فصيلة Mesonychidae من هذه الرتبة، مع ذلك فإن اللفظ يستعمَل حاليًّا للإشارة إلى كل أعضاء الرتبة Mesonychia بما تحتويهم أنواع خاصة بفصائل أخرى ضمنها. وجدت دراسة حديثة أن ذوات المخالب المتوسطة كانوا ذوات حوافر حقيقية euungulates أولية قاعدية، وأقرب تطوريًّا إلى الأركتوكيونيَّات arctocyonids. العلاقة التطورية مع الحيتانيات: وكان لها ضروس مثلثية الشكل غير معتادة المشابهة للخاصة بالحيتانيات (الحيتان والدلافين)، وخاصة الخاصة بالـ archaeocetes، كما كان لها سمات تشريحية للجمجمة وصفات تشريحية أخرى مشابهة. لهذا السبب اعتقد العلماء لزمن طويل أنها كانت الأسلاف المباشرة للحيتانيات، لكن اكتشافات أطراف خلفية محفوظة جيدًا للحيتانيات العتيقة، والدراسات الأكثر حول العلاقات التطورية تدل الآن على أن الحيتانيات ذوو قرابة تطورية أوثق إلى فرسيات النهر hippopotamids [فرس النهر وأسلافه وأقاربهم المنقرضين] وشفعيات أي مزدوجات أصابع آخرين مما هم إلى مزدوجات الأصابع mesonychids، وتتوافق هذه النتيجة مع الكثير من الدراسات الجزيئية. يعتقد العلماء حاليًّا أن الحيتانيات تحدرت من سلف مشترك مع الـ anthracotheres [يعني اسمهم الحيوانات المعثور عليها في طبقة الفحم]، وهم الأسلاف النصف مائيي الاعتياش لفرسيات النهر [البرْزَنيقِيَّات] وأفراس النهر. إن التصنيف للحيتان مع أفراس النهر كأقارب تطوريين وثيقين في دراسة الفروع التطورية هو أحد نتائج حذف

للمهتمين بمعرفة أكبر أي شيء، فإن Andrewsarchus [الثديي الأندراوسي أو ثديي أندراوس الرياديّ][1] من نوع متوسطات المخالب mesonychid من عصر الإيوسين [فجر الحديث] في منجوليا كان أكبر لاحِم مفترس أو متقمِّم من بين الثدييات، ذا جمجمةٍ طولها متر (٣ أقدام) تقريبًا.

كانت ثدييات عصر الباليوسين [الحديث السابق أو القديم] بدائية عامةً في بنيواتها، لكن بعد انقلاب عنيف عند نهاية هذا العصر، بزغت الكثير من المجموعات الجديدة في عصر الإيوسين [فجر الحديث] والتي بقيت حية حتى العصر الحالي.



الصورة ١٧- ١ Chriacus [يعني اسمه المفيد!]، نوعٌ من اللقمانيات أوذوات مفاصل الأصابع الأركتوكيونية أو من نوع الأركتوكيونيَّات arctocyonid condylarth، والذي بدا مشابهًا جدًّا ظاهريًّا لحيوان القوطي coati الحي المعاصر. إعادة بناء E. Kasmer، تحت إشراف Kenneth D. Rose، من جامعة جونز هوبكِنْز The Johns Hopkins University)

Andrewsarchus [ثديي أندراوس الرائد] من متوسطات المخالب mesonychids التي لطالما اعتبر سابقًا منتميًا لها. أحد الاستنتاجات المحتملة لذلك هي أن Andrewsarchus ليس من ذوات المخالب المتوسطة، بل قريب وثيق لفرسيات النهر. عدم التأكد الحالي هو جزئيا يعكس تشظي بقايا بعض أصناف المتحجرات الحاسمة الهامة، مثل Andrewsarchus.

[1] Andrewsarchus mongoliensis اشتُقَّ اسمه تكريمًا لـ Roy Chapman Andrews ومعنى (archos) ἀρχός يعني ريادي أو قائد، وmongoliensis اسم نوعه يشير إلى مكان اكتشافه في منجوليا الداخلية في الصين. ينتمي إلى رتبة شفعيات أو مزدوجات الأصابع artiodactyls ثم من الفرع التطوري Cetancodontamorpha الذي يضم الحيتانيات وفرسيات النهر وأقاربها المنقرضة حسب آخر ما توصل إليه العلم في التصنيف، ويُعتقد حاليًا أنه كان قريبًا تطوريًّا لفرسيات النهر hippopotamids وأنه يتشارك سلفًا مشتركًا مع الـ anthracotheres [يعني اسمها الثدييات المكتشفة في الطبقة الفحمية] الأسلاف النصف مائية الاعتياس لأفراس النهر، وليس إلى متوسطات المخالب Mesonychids. وهو جنس منقرض من الثدييات عاش خلال عصر الإيوسين الوسيط فيما هو حاليًّا منجوليا الداخلية بالصين. ولم يُعثَر منه إلا على عينة وحيدة لجمجمة ذات حجم كبير في عام ١٩٢٣م خلال استكافات في آسيا الوسطى من جانب المتحف الأمِركي للتاريخ الطبيعي.


Arctocyon
0
10cm

Arctocyon

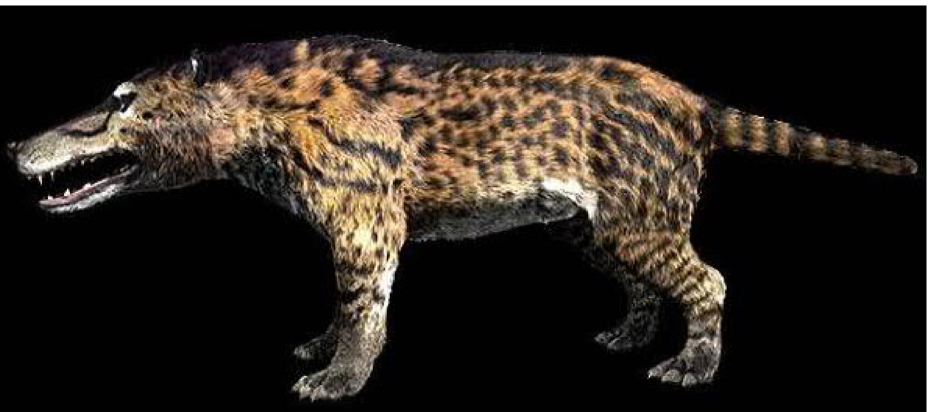

Andrewsarchus باللون البرتقالي مع مقارنة باحجام بعض أضخم المفترسين
عبر التاريخ من ديناصورات وتماسيح وطيور غير طائرة ضخمة

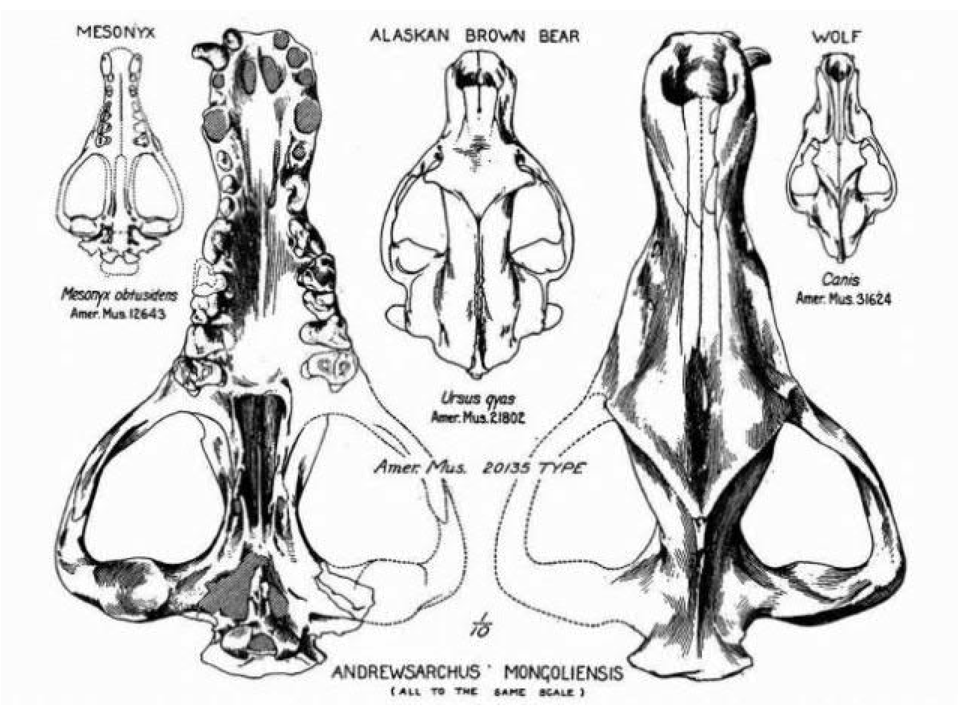





Andrewsarchus mongoliensis
Éocène, -40 Ma





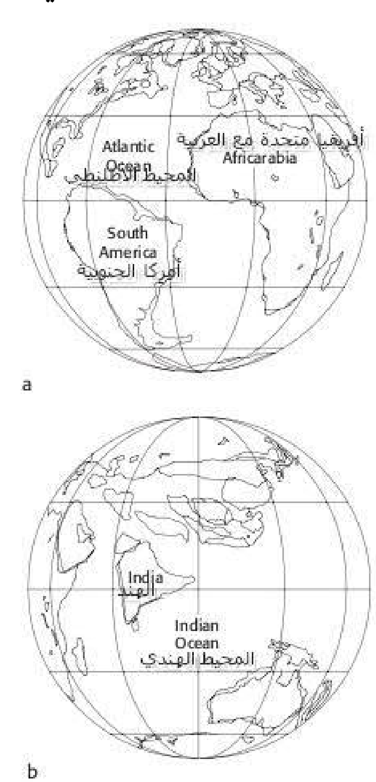




Andrewsarchus من نوع mesonychid متوسطات المخالب أو من الفرع التطوري Cetancodontamorpha الذي يضم الحيتانيات وفرسيات نهر وهو من عصر الإيوسين في منجوليا كان أكبر لاحِم مفترس أو متقمِّم من بين الثدييات، ذا جمجمةٍ طولها متر (٣ أقدام) تقريبًا.

عصر الإيوسين Eocene[1] [فجر الحديث، ثاني عصور دهر الحياة الحديثة بعد الباليوسيني]

يرتبط الانقلاب الحادث عند نهاية عصر الباليوسين جزئيًّا بحدث صدفوي؛ فتغيُّر المناخ لوقت وجيز سمح بهجرة للثدييات عبْرَ القارات الشمالية لأوراسيا وأمِركا الشمالية. توجد نفس متحجرات مستعمَرات الحياة الحيوانية تقريبًا عبر نصف الكرة الأرضية الشمالي في كلٍّ من أوراسيا وأمِركا الشمالية. على النقيض، كانت أمِركا الجنوبية وافريقيا الملتصقة بالعربية وأستراليا قارات جزيرية إلى الجنوب من هذه المنطقة البريَّة الشمالية الكبيرة (خريطة للعالم العتيق في عصر الإيوسين ١٧– ٢)، وسوف أناقش تطور حياتها الحيوانية على نحو مستقل في الفصل ١٨.



a

b

الخريطة ١٧– ٢ جغرافيا العالم في عصر الإيوسين [ثاني عصور دهر الحياة الحديثة] منذ حوالي ٥٠ مليون سنة، يظهر بها (أ) المحيط الأطلنطي و(ب) المحيط الهندي. كانت كتل اليابسة الشمالية قريبة من بعضها البعض، واستطاعت الحيوانات البريّة المشي بحُرِيَّةٍ من كتلة برية إلى أخرى خلال مناخات معتدلة نسبيًّا للقطب الشمالي في عصر الإيوسين. كان يمكن اعتبار الهند وأسترالاسيا [أستراليا متحدة مع آسيا] وأفريقاعربيا [أفريقيا متحدة مع شبه الجزيرة العربية] وأمِركا الجنوبية كلهم قارات جزيرية، لأن أسترالاسيا وأمِركا الجنوبية والقطب الجنوبي كانت متصلة فقط بممر عسير عَبْرَ المناطق القطبية.

بزغت الكثيرُ من المجموعات الحديثة للثدييات مبكِّرًا جدًّا في عصر الإيوسين، بما فيها القوارض والرئيسيات المتقدمة وشفعيات أو مزدوجات الأصابع وأحاديَّات الظِّلْفِ [كالحصان والحمار]. هناك بعض الجدالات بخصوص الأدلة الجزيئية المرتبطة بذلك التشعب. كمثال، تقترح الأدلة الجزيئية أن الحيتان تمثِّل فرعًا تطوريًّا مع شفعيات أي مزدوجات الأصابع (مثل الظباء والماشية والأيائل والخنازير وما شابهَ تسير على الإصبعين الثالث والرابع)، بينما اللواحم مرتبطة وذوات قرابة تطورية بأحاديَّات الظِّلْف (مثل الأحصنة والحمير والخراتيت [حيوانات وحيد القرن] والتابيرات، وما شابهَ). على النقيض من

١ وعصر الإيوسين هو الحقبة الثانية من الدور الثالث Tertiary امتد بعد الباليوسين وقبل الأُلِجوسين، حيث إمتد منذ حوالي ٥٥ مليون سنة إلى ٣٨ مليون سنة ماضية.

ذلك، دائمًا ما ربط علماء الحيوان وعلماء المتحجرات بين شفعيات الأصابع ووحيدات الظلف في مجموعة كبيرة من العواشب، تُدعى ذوات الحوافر ungulates. إن صمدت الأدلة الجزيئية، فبالتالي ربما تكون فئة ذوات الحوافر مجموعة إيكولُجية، لكنها ليست مجموعة تطورية تصنيفية).

يكمن جزء من المشكلة في حقيقة أن الثدييات الحية المعاصرة هي مجرد الناجين من تشعُّب هائل تضمَّنَ الثدييَّاتِ المنقرضةَ التي خلَّفت وراءها لنا متحجراتِ هياكلَ عظميةٍ لكنْ لا يمكن أخذ عينات منها للدراسات الجزيئية. تحتاج تلك النتائج من علم الأحياء والجينات الجزيئيين إلى الكثير من التحليل والنقاش الإضافيين.

بحلول نهاية عصر الإيوسين المبكر كانت الثدييات الحافرة والراكضة والمتسلقة والقافزة والمتزلقة والطائرة قد ترسَّخَت في كل أحجام الأجساد المتاحة. والأهم في كل ذلك، أن متحجرات مستعمَرَات الحياة الحيوانية الخاصة بعصر الإيوسين تسجِّل تطور الكثير من المجموعات المختلفة الخاصة بالثدييات إلى عواشب من مختلف الأحجام. كان الكثير من تلك العواشب المبكِّرة صغار أو متوسطي الأحجام، وقد تضمنوا أبكر حصان معروف، وهو Hyracotherium[1] [الحيوان الشبيه بالوَبْر، حيوان بدائي ضئيل الحجم يشير اسمه إلى تشابهه الظاهري مع حيوان الوبر hyrax، ويسمى كذلك باسم حصان فجر التاريخ Eohippus]، لكن سرعان ما صار هناك عواشب كبيرو أحجام الأجساد والذين وصل بعضهم إلى وزن خمسة أطنان. في أمِرِكا الشمالية كان أكبر العواشب هم uintatheres [الحيوانات الثديية اليُونْتِية][٢]، يتلوهم titanotheres [يعني اسمهم الحيوانات (الثديية) العملاقة][٣]، وفي أمِرِكا الجنوبية كان أكبرهم هم astrapotheres [يعني اسمها الثدييات البرقية][٤] (الصورة ١٧– ٣)، وفي العالم القديم وخاصة في أفريقيا كان الأكبر هم arsinoitheres [الحيوانات الشمالي أفريقية الضخمة المنسوبة إلى الفيوم][١].

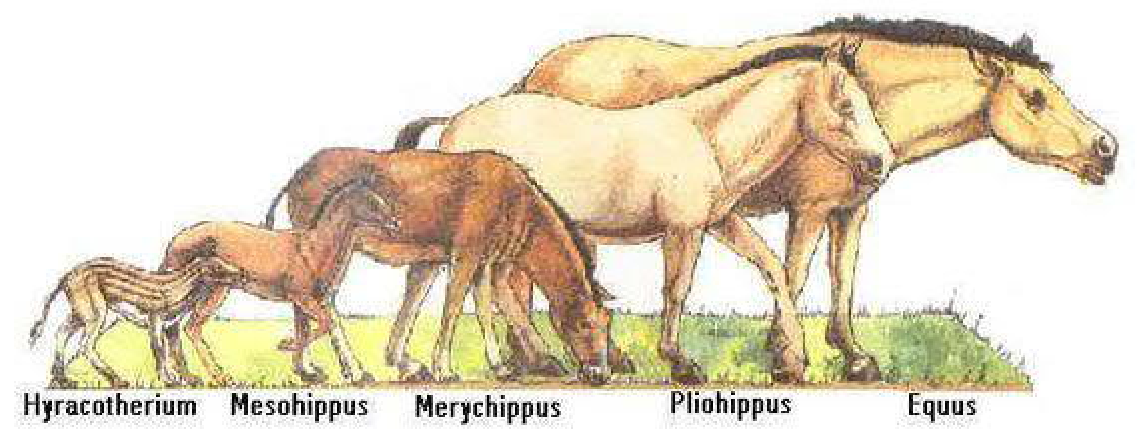
---

[1] Hyracotherium الحيوان الشبيه بالوَبْر: كان حيوانًا من ذوات الحوافر من وتريات عدد الأصابع perissodactyl صغير الحجم جدًا (طول جسده حوالي ٦٠ أو ٧٨ سم وطوله حوالي ٣٥,٥ سم عند كتفيه ووزنه حوالي ٩ كجم) وكان يزن حوالي٩ كجم (٢٠ رطلًا) وكان له أربع أصابع ذوات حوافر في كل قدم أمامية وثلاثة في كل قدم خلفية، وكان لكل إصبع بطانة مشابهة للخاصة بالكلب. وكان له وجه قصير ذو محجري عينين في الوسط وفرق أو حيز diastema قصير (المسافة بين الأسنان الأمامية والأسنان الخدية). كانت جمجمته طويلة، بها ٤٤ ضرسًا مستدير الحدبات منخفض التتويج، ورغم ذلك فيمكن رؤية بدايات تطور البروزات الشبيهة بالخاصة بالحصان في ضروسه. يعتقد أنه كان معتشبًا مرتعيًا يأكل على نحو رئيسي الأوراق الناعمة وكذلك بعض الفواكه والجوز وبراعم النباتات. وقد وُجِدَت متحجرته في تكوين طين لندن. وكان يعتبَر أقدم الأعضاء المعروفين في جنس الحصانيات Equidae، قبل أن يعاد تصنيف أحد أنواعه _ Hyracotherium leporinum _كـ palaeothere [البهائم الحصانية–الرعدية العتيقة] أيْ: منتمٍ إلى فصيلة أولية سلف لكلٍّ من الأحصنة والبرونتوثيرات brontotheres or Titanotheriidae أو الثدييات الرعدية الضخمة.

[2] Uintatheres الثدييات اليُونْتِيَّة، اسمها مشتق من أحد أجناسها وهو Uintatherium حيوان جبال يُونْتَا Uinta، وهي سلسلة جبال في شمالي شرق ولاية أوتاه الأمِرِكية تمتد قليلا إلى ولاية Wyoming. Uintatheriidae الثدييات اليُونْتِيَّة هي فصيلة منقرضة من الثدييات ذوات الحوافر وكان من ضمنها الجنس Uintatherium، وهي تنتمي إلى رتبة Dinocerata ذوات القرون المرعبة، وهي إحدى الرتب العديدة من الثدييات البدائية ذوات الحوافر والتي أحيانًا تُضمّ إلى اللقمانيات أو ذوات مفاصل الأصابع Condylarthra. وقد كانت اليُونْتِيَّات أكبر الحيوانات البرية في عصرها، وظلت على قيد الحياة منذ عصر الباليوسين المتأخر وحتى عصر الإيوسين المتوسط. قد كانوا حيوانات ثقيلة ذوي أرجل غليظة وعظام ضخمة وأقدام عريضة وأمخاخ ضئيلة. السمة الأكثر بروزًا في الغالبية العظمى من أنواعهم كانت وجود قرون ثلماء غير حادة متعددة، ربما شبيهة بالزوائد أو المخاريط العظمية الشبيهة بالقرون الخاصة بالزراف وذكور الأوكابي المعاصرين، ووجود أنياب كبيرة شبيهة بالسيوف، وقد حل محلهم في النهاية في دورهم الاعتياشي البرونتوثيرات أو الثدييات الرعدية brontotheres الأكبر حجمًا منهم.

[3] (Titanotheriidae) Titanotheres الحيوانات الثديية العملاقة وتعرف كذلك باسم (Brontotheriidae) brontotheres الثدييات الهائلة أو الرعدية ربما بافتراض أن أصوات مشيها كانت عالية تكاد تهز الأرض. ومن أول من عثروا على متحجراتها قبيلة Sioux من الأمركيين الأصليين واعتقدوا أنها كائنات تسبب العواصف الرعدية حينما تجري فوق السحاب حسب أساطيرهم وأطلقوا عليها أحصنة الرعد ومن هنا جاء الاسم اللاتيني. هي فصيلة منقرضة من الثدييات المنتمية إلى رتبة أحاديات الظلف، وهي الرتبة التي تضم الأحصنة والخراتيت والتابيرات. وقد كانوا يشبهون ظاهريًّا الخراتيتَ، ولو أنهم كانوا أوثق قرابةً تطورية إلى الخيول، وتشكِّل الخيليات Equidae [الأحصنة وأقاربها الحمير والحمير الوحشية وكائنات منقرضة أخرى ذوات قرابة] والبرونتوثيات Brontotheriidae معًا الرتبة الفرعية الخيليات وذوات الصفات الشبيهة بالخاصة بالأحصنة Hippomorpha. وقد عاشوا منذ حوالي ٥٦– ٣٤ مليون سنة ماضية حتى نهاية عصر الإيوسين. احتفظت البرونتوثيرات بأربع أصابع في قدميها الأماميتين وثلاثة أصابع في قدميها الخلفيتين. كانت أسنانها متكيفة لتقطيع نباتات ناعمة غير خشنة أو جارحة نسبيًّا. وكان لضروسها شكل حرف W (ذي نصل قاطع خارجي ectoloph). إن تاريخهذه المجموعة التطوري معروف جيدًا، بفضل سجل متحجرات ممتاز في أمركا الشمالية. لقد كانت البرونتوثيرات المبكرة _مثل Eotitanops يعني اسمه أي وجه فجر أو نشأة الثدييات الضخمة_ صغار الأحجام حقًّا، ليس الواحد منهم أطول من متر ارتفاعًا، وكانوا بلا قرون (جمَّاوات). تطورت البرونتوثيرات أو الثدييات الردعية عبر الزمن إلى أحجام جسدية ضخمة، ولو أن بعض الأنواع الصغير الأحجام _مثل Nanotitanops [يعني اسمه الثديي الرعدي الضئيل]_ تواجدت خلال عصر الإيوسين. بعض الأجناس _مثلSphenocoelus) Dolichorhinus)_ تطور فيها جماجم مستطالة للغاية. كانت البرونتوثيرات المتأخرة ضخمة الحجم، بطول يصل إلى مترين ونصف ارتفاعًا وكانوا ذوي زوائد عجيبة شبيهة بالقرون. كمثال طور Megacerops [يعني اسمه ذو القرنين الكبيرين] الشمالي أمركي ثنائية شكل جنسي تتميز بزوج من القرون الكبيرة فوق أنوف الذكور. تقترح ثنائية الشكل الجنسي أن البرونتوثيرات كانت كائنات قطيعية (اجتماعية) وقامت ذكورهم بنوع ما من سلوك التناطح بالرؤوس في التنافس على التزاوج. إلا أن قرونها _على خلاف قرون الخراتيت_ كانت مكوَّنة من عظم هو العظم الجبهي والأنفي. لقد انقرضت البرونتوثيرات على الأرجح بسبب عجزها عن التكيف مع ظروف المناخ الأجف والنباتات الأقسى الأخشن كالأعشاب والتي انتشرت خلال العصر الأُلِجوسيني Oligocene.

[4] Astrapotheria هي رتبة منقرضة من الثدييات ذوات الحوافر الخاصة بأمركا الجنوبية والقطب الجنوبي والتي عاشت من عصر الباليوسين المتأخر حتى الإيوسيني الأوسط، منذ ٥٩ إلى ١٢ مليون سنة ماضية، كانت كبيرة الأحجام وشبيهة الشكل ظاهريا بحيوان وحيد القرن. كان لها أجساد قوية نسبيًّا وقادرة على الحركة البطيئة فقط تقريبًا لكن عظامها كانت طويلة

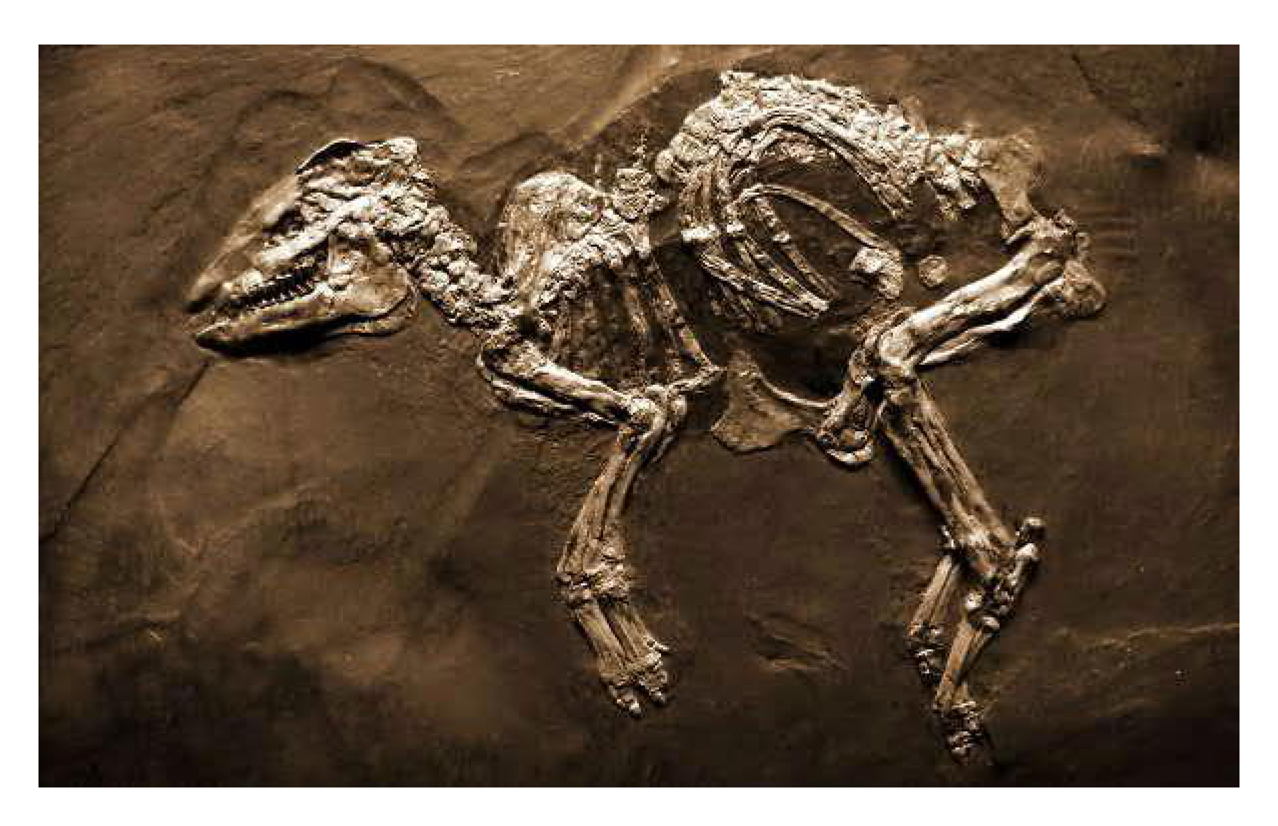


Hyracotherium وسماته تعطينا فكرة عن مراحل تطور الحصان



نحيلة، وخاصة في الطرفين الخلفيين، مما يوحي بأنها كانت برمائية الاعتياش والحياة. ولدعم خراطيمها الشبيهة بخراطيم الفيليات البدائية ورؤسها الكبيرة كان لها رقاب طويلة ضخمة نسبيا مقارنة بباقي العمود الفقري. وكانت أقدامها ذوات خمس اصابع وكانت ذوات عظام قدمية وسنعية (مشطية) قصيرة متينة.

[1] Arsinoitherium: من شبيهات ذوات الحوافر Paenungulata وهو تصنيف يضم الأفيال والوبر والخيلانيات البحرية، ثم من رتبة ثقيلات الأقدام Embrithopoda، اسمها مشتق من النوع Arsinoitherium الثديي الفيومي الأقرن، عثر على متحجراته في الفيوم التي أمكن استخراج وإعادة بناء متحجرات كاملة له منها ومتحجرة ممتازة لأحد أنواعه من الأراضي الأثيوبية العالية في Chilga]. عاش الجنس Arsinoitherium الأرسينويثيروم أو حيوان الفيومي الأقرن خلال عصر الإيوسين المتأخر والأُلِجوسيني المبكر في شمالي أفريقيا من٣٥ إلى ٣٠ مليون عام ماضٍ، في مناطق الغابات الاستوائية المطيرة وحواف برك غابات أشجار المنجروف. كان الأرسينويثيروم أو الفيومي أو الثديي الشمالي أفريقي الأقرن في حياته يشبه ظاهريًا وحيد القرن. كان طول بالغي النوع A. zitteli المصري يصلون إلى طول ١,٧٥ متر عند الكتفين و٣ أمتار لطول الجسد. كانت أبرز سماته المميزة الجديرة بالذكر هي زوج من قرون ضخمة فوق أنفه وزوج آخر من قرون شبيهة بالنتاوئ الضئيلة فوق عينيه. كان هيكله العظمي قويًا وأطرافه عمودية، مشابهة للخاصة بالأفيال، وكانت عظام وركيه كذلك مشابهة للخاصة بالأفيال. وكان له ٤٤ سنًا وهي الوضع الأولي للثدييات المشيمية، مع سمات توحي بأنه كان مرتعيًا انتقائيًا في تغذيته. كما عُثِر على أجناس أرسينويَّة arsinoitheriids في جنوب شرقي أورُبا مثل Crivadiatherium [حيوان موقع Crivadia في منخفَض Hateg] من رومانيا و Hypsamasia [ذو الضروس مستديرة الحدبات من إقليم Amasya] و Palaeoamasia [كائن Amasya العتيق] من تركيا.

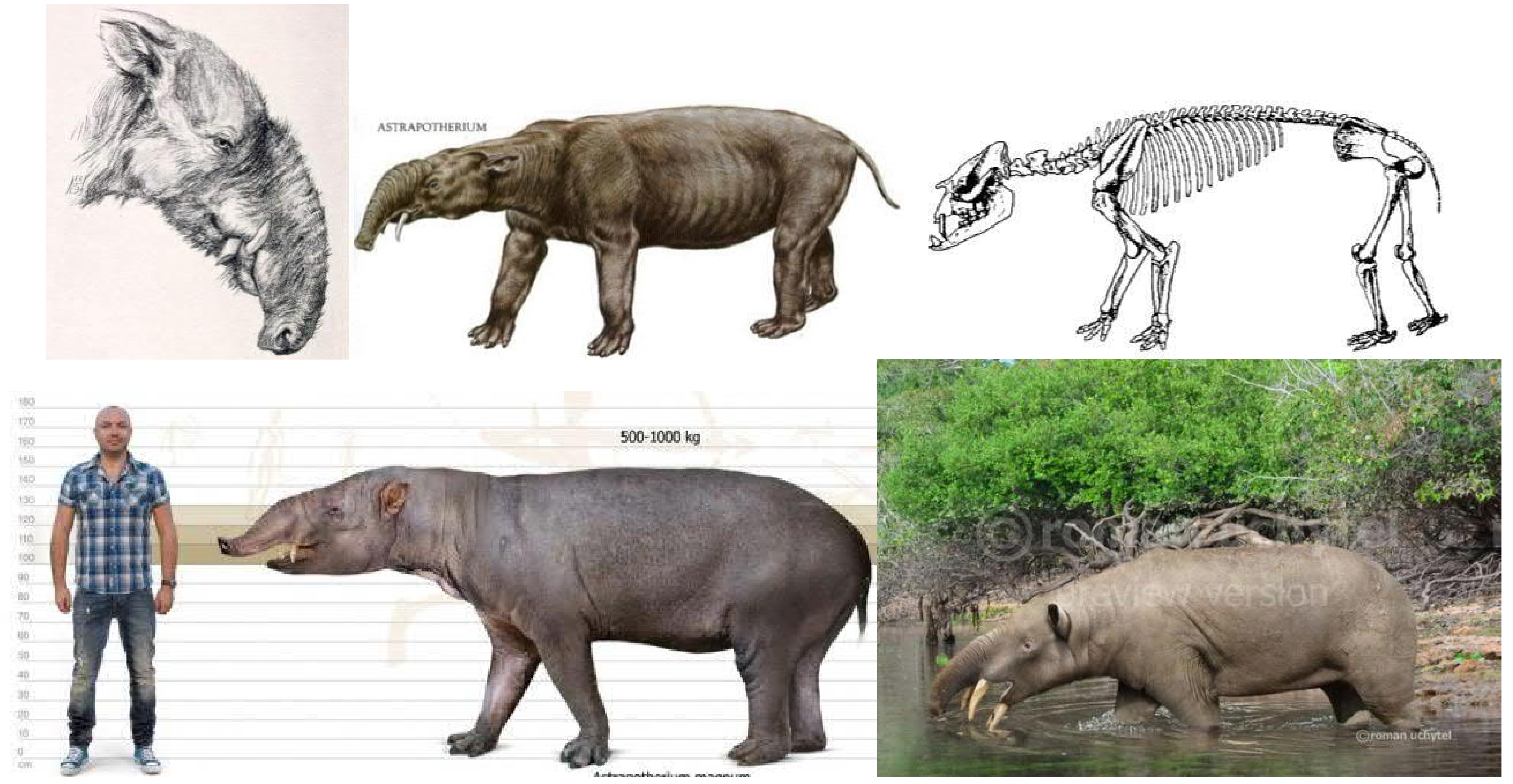








بعض متحجرات Hyracotherium



الصورة ١٧– ٣ لقد تطورت الكثير من مجموعات الثدييات النباتية إلى وزن جسد حوالي خمسة أطنان في أزمنة وقارات مختلفة. هذا هو النوع Astrapotherium [يعني اسمه الثديي البرقي] من دهر الحياة الحديثة المبكر في أمِركا الجنوبية.

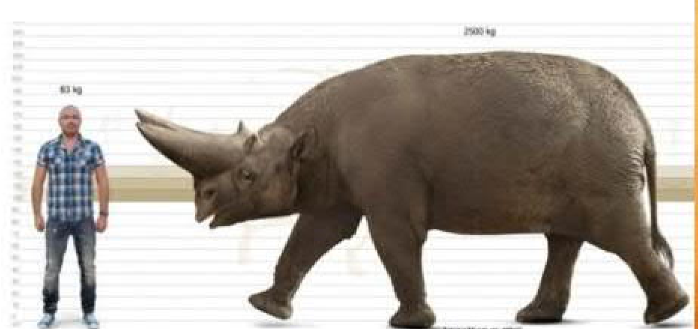




بعض متحجرات Astrapotherium [الثديي البرقي]









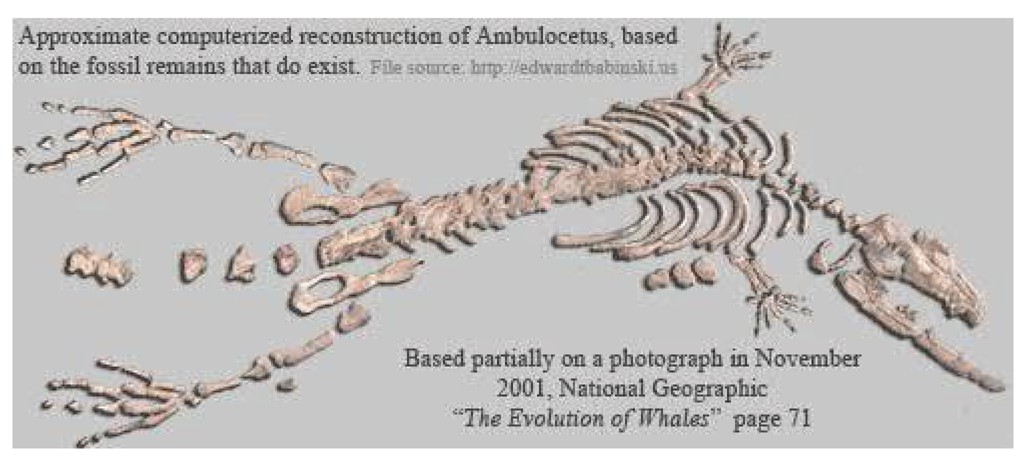


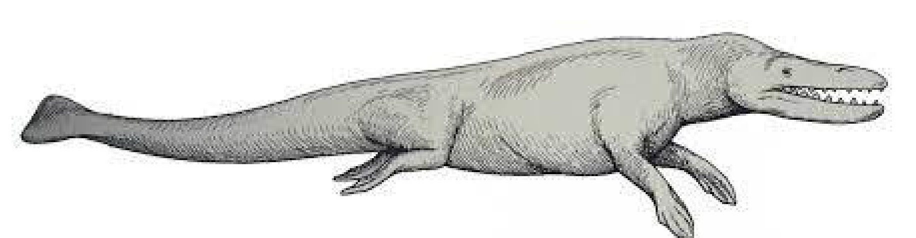
في العالم القديم وخاصة في أفريقيا كان أكبر الثدييات حجمًا هم arsinoitheres، ومنهم الجنس arsinoitherium [الثديي الأقرن الشمالي أفريقي المنسوب إلى الفيوم]

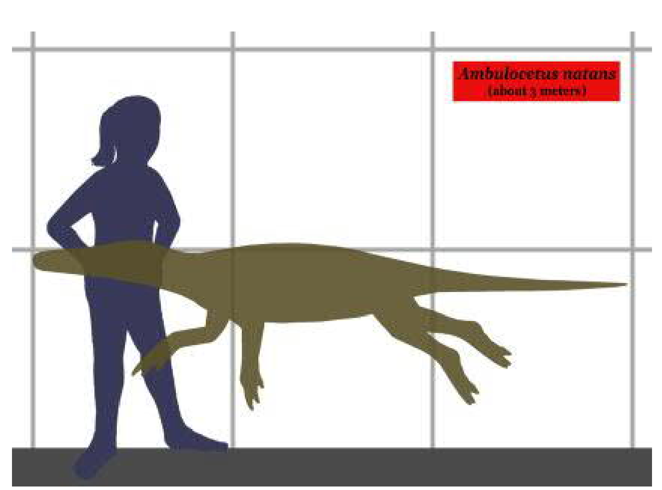
بزغت شفعيات الأصابع وأحاديات الظِّلْف على نحو مفاجئ في متحجرات عصر الإيوسين في أمِركا الشمالية. ربما اجتاحت أحادياتُ الظِّلف أمِركا الشمالية من آسيا، لكنْ يُرجَّح أن شفعيات الأصابع تطورت في أمِركا الشمالية من arctocyonid اركتوكيونيٍّ مثل Chriacus (الصورة ١٧- ١). بادئين صغيري الأحجام، طورت كلا المجموعتين أرجلًا طويلة نحيلة قوية وتكيفاتٍ أخرى للركض السريع.

وتطورت ذوات الممصَّات أو الخراطيم Proboscideans (جنس الأفيال والفيليَّات وأبقار البحر وأجناس منقرضة ذوات قرابة تطورية) وأبقار البحر _اللذين ينتمون إلى الوحشيات الأفريقية Afrotheria_ على طول الشواطئ الأفريقية الخاصة بالمحيط الاستوائي الذي امتد شرقًا وغربًا بين أفريقيا

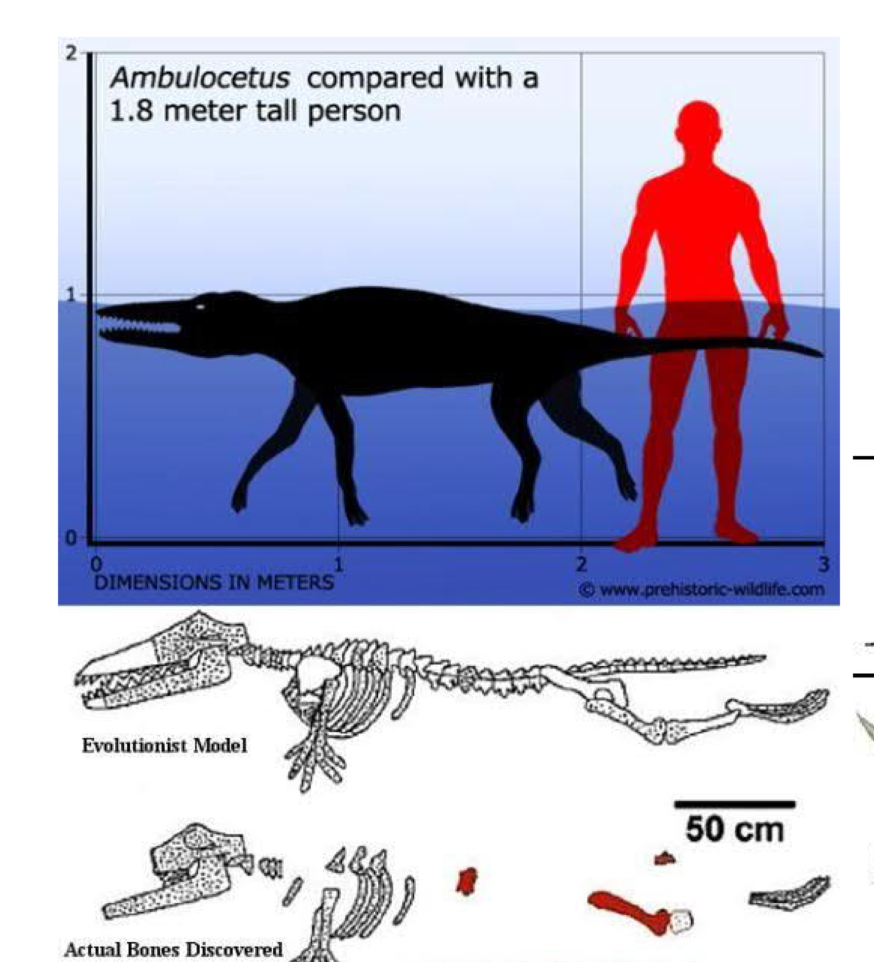
وأوراسيا (الصورة ١٧– ٢). تطورت الكثير من العواشب الأخرى معزولةً في أمِركا الجنوبية. تطوَّرَ الحيتان من ثدييات برية، ربما على طول الشواطئ الجنوبية لأوراسيا. كان Ambulocetus [يعني اسمه الحوت الماشي] كائنًا حيًّا سابحًا يمكن التعرف عليه بثقة كحيتانيٍّ بدائيٍّ، وكان له على الأرجح إيكولُجيَّة [طريقة اعتياش] مشابهة للخاصة بأسد بحر كبير الحجم. لقد عام بطريقة القُضاعة [ثعلب أو كلب الماء]، مع عمود فقري مرن، لكن كان لا يزال لديه أطراف فعَّالة كفؤة تمامًا للتحرك هنا وهناك على الشاطئ، ولم يكن قد تطور فيه بعدُ الذيل ذو شكل شُعْبَتَيْ المرساةِ الخاص بالحيتان اللاحقة.

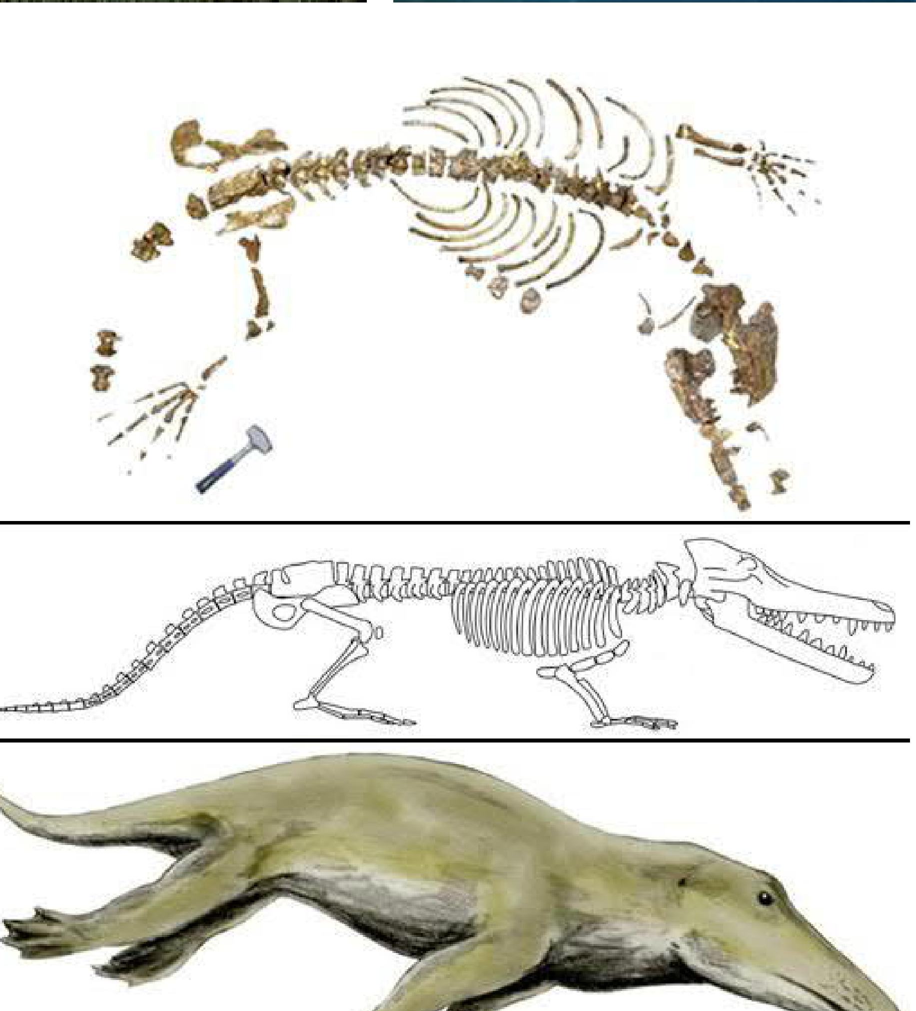


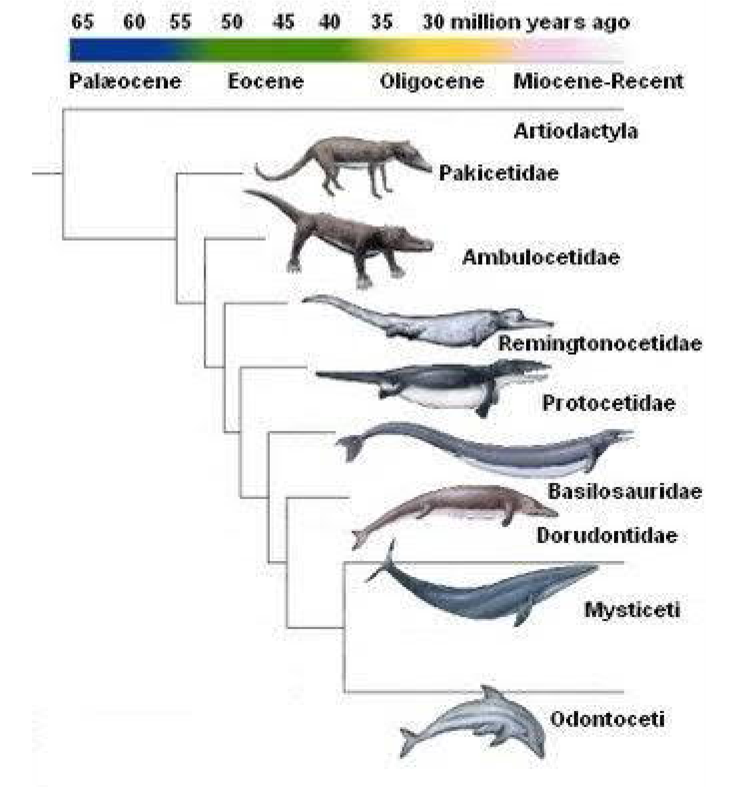








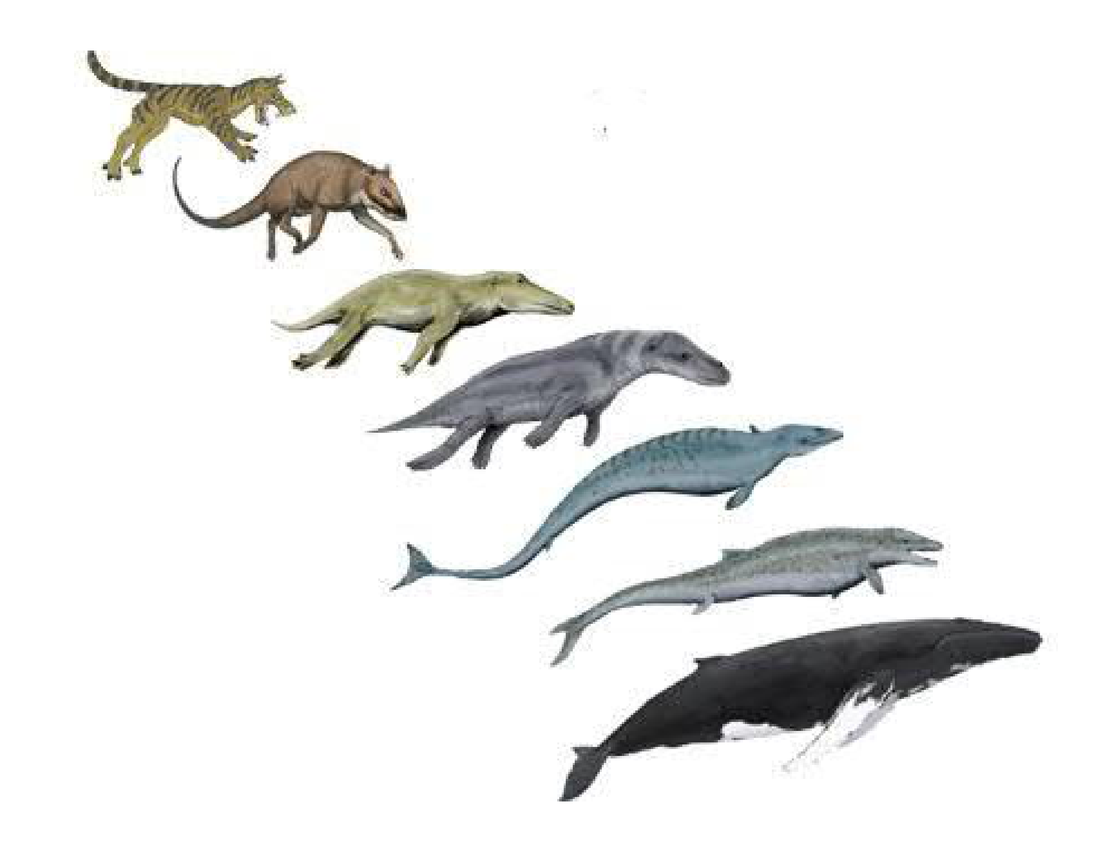


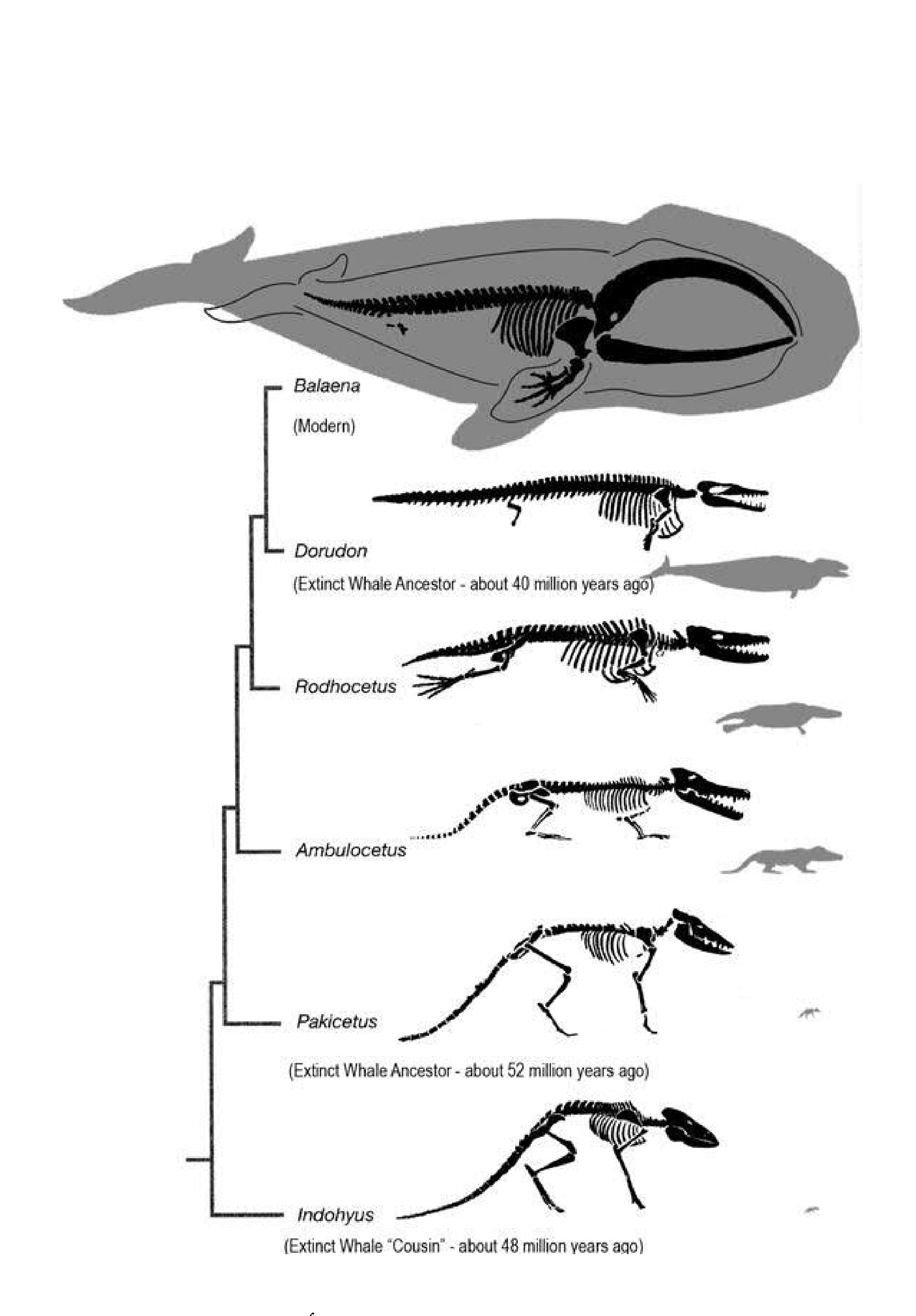


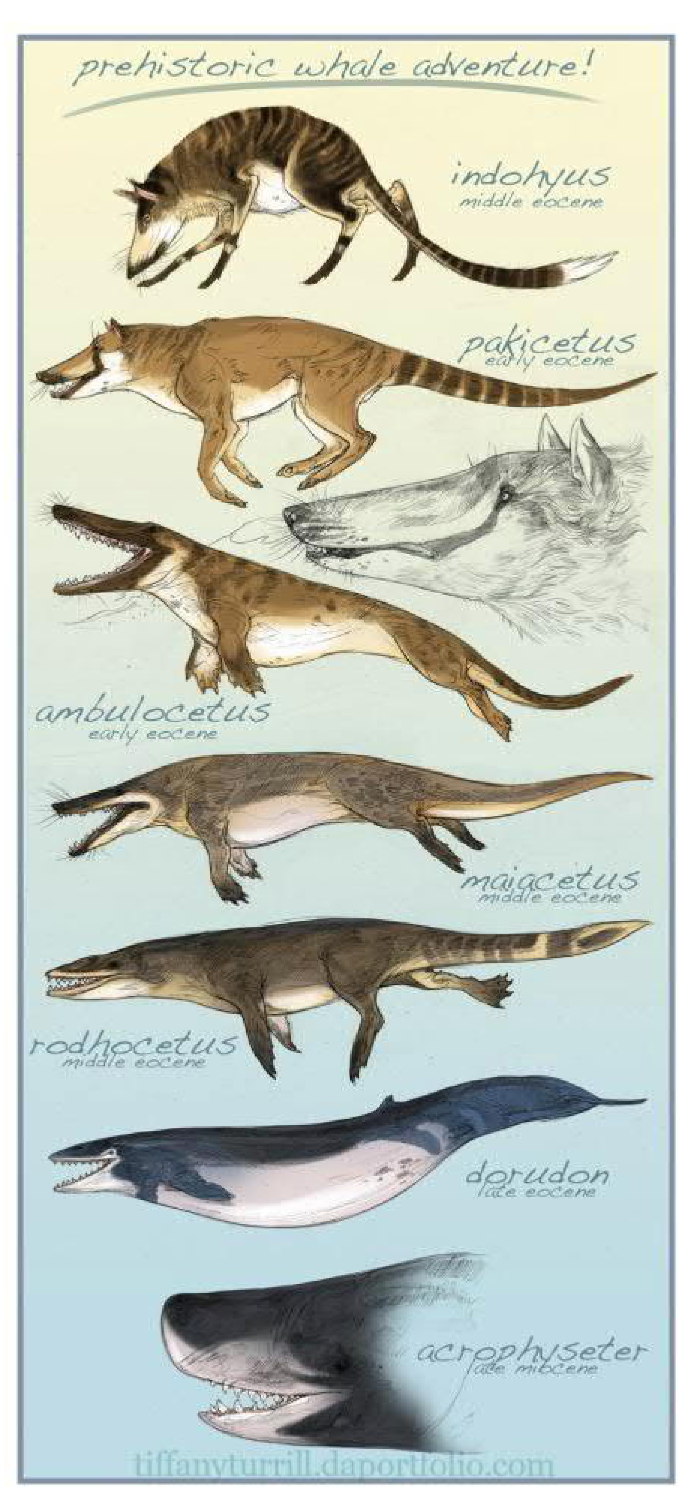


Bos taurus
Balaenoptera musculus
Hippopotamus amphibius
†Eomysticetus
†Cetotherium
†Aetiocetus
†Janjucetus
†Mammalodon
†Basilosaurus
†Dorudon
†Georgiacetus
†Rodhocetus
†Maiacetus
Remingtonocetus
†Ambulocetus
†Pakicetus
†Indohyus

55 50 45 40 35 30 25 Millions of years ago
Hippopotamus
Indohyus
Pakicetus
Thick, bony wall around middle ear
Freshwater semi-aquatic habitat
Ambulocetus
Kutchicetus
Large powerful tail
Shorter legs
Fat pad in jaw for hearing
Brackish water habitat
Rodhocetus
Salt water habitat
Dorudon
Nasal opening shifted back
Eyes on the side of head
Odontocetes
Tail flukes
Very small hind legs
Nasal opening shifted further back
Echolocation for hunting
Complete loss of hind legs
Nasal opening reaches position of blowhole in living whales
Mysticetes
Baleen for filtering food







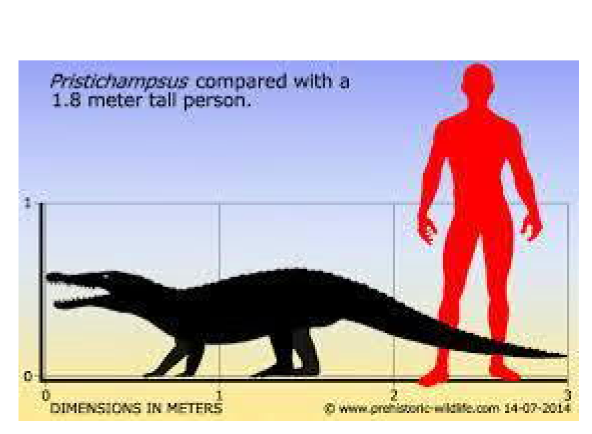
Ambulocetus [الحوت الماشي] وموضعه في خط التطور يوضح لنا كيفية تطور الحيتان من سلف بري رباعي الأرجل.

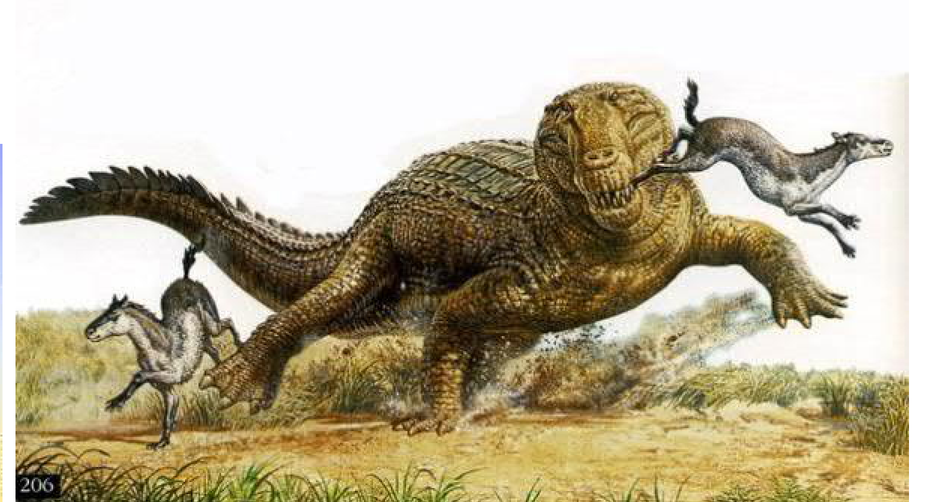
لم تتطور الثدييات بسرعة إلى لواحِمَ مفترِسين كبيري الأحجام. كانت بعض اللواحم الثديية المبكرة _وهي mesonychids [متوسطات المخالب] و arctocyonids [الأركتوكيونيَّات] و creodonts [المفترسات العتيقة، ومعنى الاسم حرفيًّا ذوات الأسنان الآكلة للحوم]_ على الأرجح مُناظِرةً في الحجم والإيكولُجِيَّةِ [طريقة الاعتياش] للخاصَّيْنِ بالضباع وذئاب القَّيوط coyotes [ذئاب البراري الشمالي أمركية الصغيرة الحجم] والكلاب. يبدو أن الثدييات الأكبر في ذلك العصر كانت قارتةً أو عاشبةً.

على البر، تفوقت على الثديياتِ اللواحمِ في حجمِ الجسدِ في القارات الجنوبية طيورٌ ضخمةٌ غيرُ طائرةٍ ذواتُ رؤوسٍ ضخمةٍ ومناقيرَ مُمَزِّقةٍ وحادَّةٍ طاعنةٍ، وهي diatrymas [ربما نترجمها إلى الطيور الضخام الشمالية أو الترِيميَّات، والاسم مأخوذ من trym اسم عملاق أسطوري في الأساطير النرويجية القديمة] (الصورة ١٧– ٤). تطورت على نحو مستقل في أمِرِكا الجنوبية طيور لاحمة مشابهة تدعى phorusrhacids المشهورة باسم طيور الرعب [ومعنى اسمها حرفيًّا: ذوات الفكوك المتغضِّنة] (الصور ١٣– ٢٢)، كانت كلا المجموعتين مفترِساتٍ مهيمِنة في أنظمتها الإيكولُجِيَّة الخاصة بها لبعض الزمن. في نفس الزمن، صار بعض التماسيح الأوربية والشماليّ أمِركيةِ مفترِسين هامّين على اليابسة؛ كمثالٍ تطورَّتْ في التماسيح ذوات الأسنان المسننة أو المشرشرة pristichampsid[1] الخاصة بأورُبا وأمِركا الشمالية الجماجم العالية والأسنان المُسَنَّنة والذيول المستديرة الخاصة بالزواحف اللاحمة البريّة. لقد تطورت في أحد تماسيح عصر الإيوسين حوافرُ!



الصورة ١٧– ٤ الطير اللاحم العملاق دياتريما Diatryma أو الترِيميّ، انظر صورًا لمتحجراته وإعادات بناء له في ص ٤٣٢ و٤٣٣





[1] Pristichampsids التماسيح ذوات الأسنان المسننة أو المشرشرة وهي سمة للتماسيح البرية المنقرضة التي كانت لا تستطيع قتل فرائسها بإغراقها في الماء، وكانت أصابع أقدامها شبيهة بالحوافر مما يدل على أنها عاشت على البر أكثر من الماء واصطادت فرائس برية. Pristichampsidae التماسيح ذوات الأسنان المشرشرة هي فصيلة منقرضة من التمساحيات تُعرَف من أورُبا من العصر الباليوجيني، ولا يُعرف منها حاليًّا إلا الجنس Pristichampsus [ذو الأسنان المشرشرة]. وقد كانت تمساحيات متخصصة للغاية متكيفة للحياة على البر. وكان لها أجساد مدرعة بشدة أكثر بكثير من تماسيحنا المعاصرة بصفائح عظمية تعرف بالجلد المتعظم osteoderms متداخلةً بإحكام على طول ظهره ومغلفة للذيل وممتدة حتى الأرجل، وكان لها وأرجل طويلة ومخالب ثلماء تشبه الحوافر وموضعاترباط عضلات الأرجل مختلف الوضعية فيها عن التماسيح المعاصرة بما كتكيف للمشي على البر، وتدعى أحيانًا على نحو غير رسمي بالتمساحيات ذوات الحوافر. كان طول الواحد منها يصل إلى مترين إلى ثلاثة أمتار. معظم دراسات العلاقات التطورية تضعها في موضع أولي قاعدي ضمن التمساحيات. وبينما لمعظم التمساحيات جماجم مسطحة كان للتمساحيات ذوات الأسنان المشرشرة جماجم طويلة ضيقة مضغوطة من الجانبين. وكان أسنانها مضغوطة الجانبين وليست مخروطية الشكل مثل الخاصة بالتمساحيات الأخرى. هذه التوليفة من جمجمة ضيقة (مضغوطة الجانبين) وأسنان مضغوطة الجانبين شائعة ضمن ذوات الصفات الشبه تمساحية crocodylomorphs من غير التمساحيات البرية التي عاشت في دهر الحياة الوسطى، لكنها فريدة نادرة ضمن التمساحيات لم تُعرَف إلا في التمساحيات ذوات الأسنان المشرشرة pristichampsids وفي التمساحي الأسترالي المنقرض Quinkana (والذي يُعتقَد أنه كان بريًّا أيضًا، واسمه مشتق من اسم أرواح أسطورية في معتقدات سكان أستراليا الأصليين).



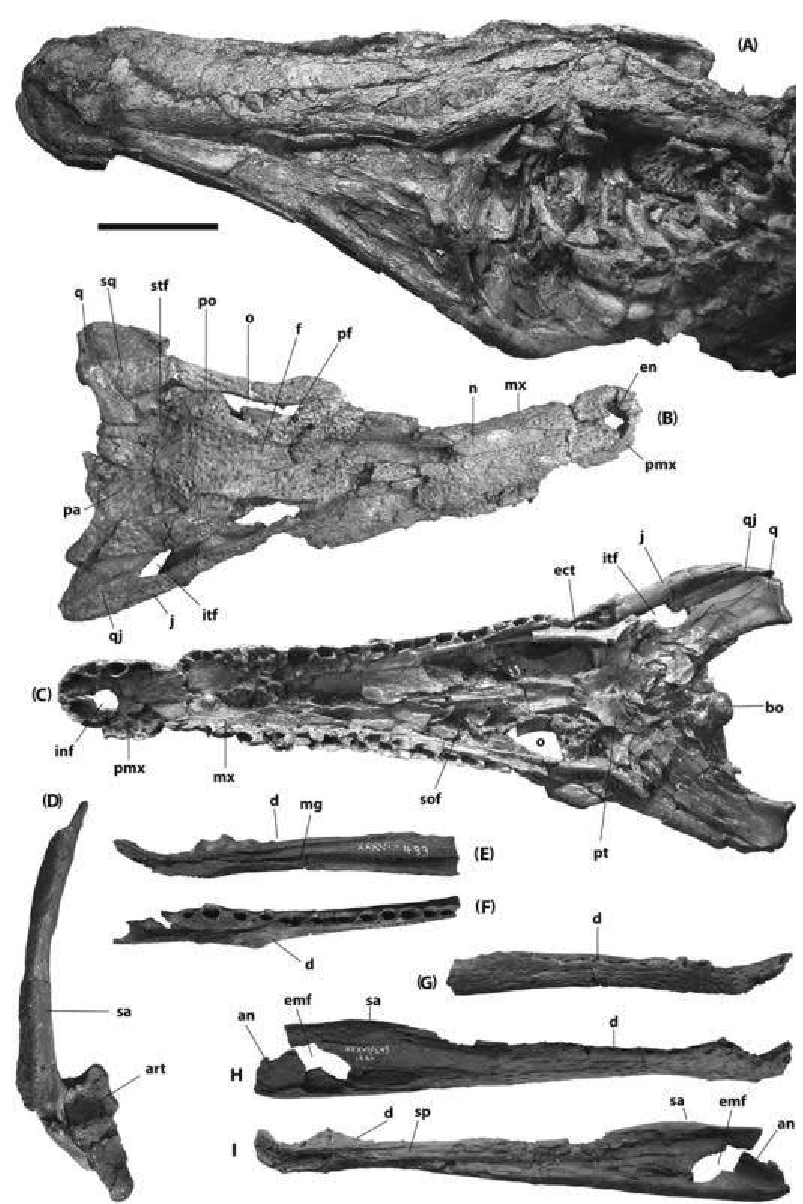






متحجرة لجمجمة Pristichampsus geiseltalensis
المعروف حاليًا باسم Boverisuchus magnifrons





(A)
(B)
q sq stf po o f pf
n mx en
pmx
pa
qj j itf
(C)
ect itf j qj q
bo
inf pmx mx sof o pt
(D)
d mg
(E)
(F)
d
(G)
d
sa
an emf sa d
H
art
I
d sp sa emf an



Pristichampsids التماسيح ذوات الأسنان المسننة أو المشرشرة، متحجرات وإعدات بناء للنوع Boverisuchus، المعروف سابقًا باسم Pristichampsus. كانت أسنانه شبيهة بأسنان الديناصورات المفترِسة وربما كان قاطنًا للبر على نحو أساسي. لقد نظَّم وولَّفَ المتطوع لمعمل المتحجرات David Ouderkirk وأعاد ترتيب الكثير من القطع التي كان قد جمعها العالم Charles W. Gilmore من Wyoming الأمركية في عام ١٩٣٠م، والتي كانت قد ظلت لسنين طويلة قابعة في أدراجها.

الفارقة العظيمة أو مرحلة الاستبعاد الكبيرة La Grande Coupure

قرب نهاية عصر الإيوسين [ثاني عصور دهر الحياة الحديثة، فجر الحديث]، انقرضت الكثير من الفصائل على البر وفي البحر وحلَّتْ محلَّها أخرى. بطبيعة الحال، صار الثدييات الذين انقرضوا يُدْعَوْن عتيقين[١] في حين يُدعى الناجون بصفة الحديثين، لكن هذا لا يعني ضمنيًّا بالضرورة أنه كانت هناك اختلافات وظيفية فيما بينهم. لقد دُعِيَ هذا الحَدَثُ بالفارقة العظيمة أو مرحلة الاستبعاد الكبيرة _بالفرنسية La Grande Coupur_ وهي موثَّقة جيدًا في أورُبا وآسيا. رغم ذلك، فقد كان ذلك الانقراض أقل فجائيةً وَحِدَّةً بكثيرٍ من حَدَث انقراض العصر الطباشيري– الترياري. لأنه كان تدريجيًّا وليس كارثيًّا وترافق مع تغيرات في المناخ والتيارات المحيطية، فقد كانت عواملُ أرضيةٌ هنا على كوكب الأرض المسؤولةَ على الأرجح.

عصر الأُلِجوسين [Oligocene العصر الحديث اللاحق][٢]

عندما صار القطب الجنوبي معزولًا وبدأ يتجمَّد، بدأ مناخ كوكب الأرض يبرُد على مستوىً عالَميٍّ. يبدو أن التبرُّد حدَثَ بخطوات حادّ، منعكسًا من وقت إلى آخر لفترة، بحيث كانت هناك سلسلة من الأحداث المناخية، كلٌّ منها سبَّبَ ووضَعَ ضغوطًا على الأنظمة الإيكولُجِيَّة الخاصة بالقارّات العديدة.

---

١ أتعمد كمترجم استعمال ضمير العاقل للكائنات الغير البشرية المتطورة عمدًا، لاعتقادي أن لها عقولًا بدرجات متفاوتة، حتى لو اضطررت لكسر قواعد اللغة العربية كثيرًا في هذا الكتاب.

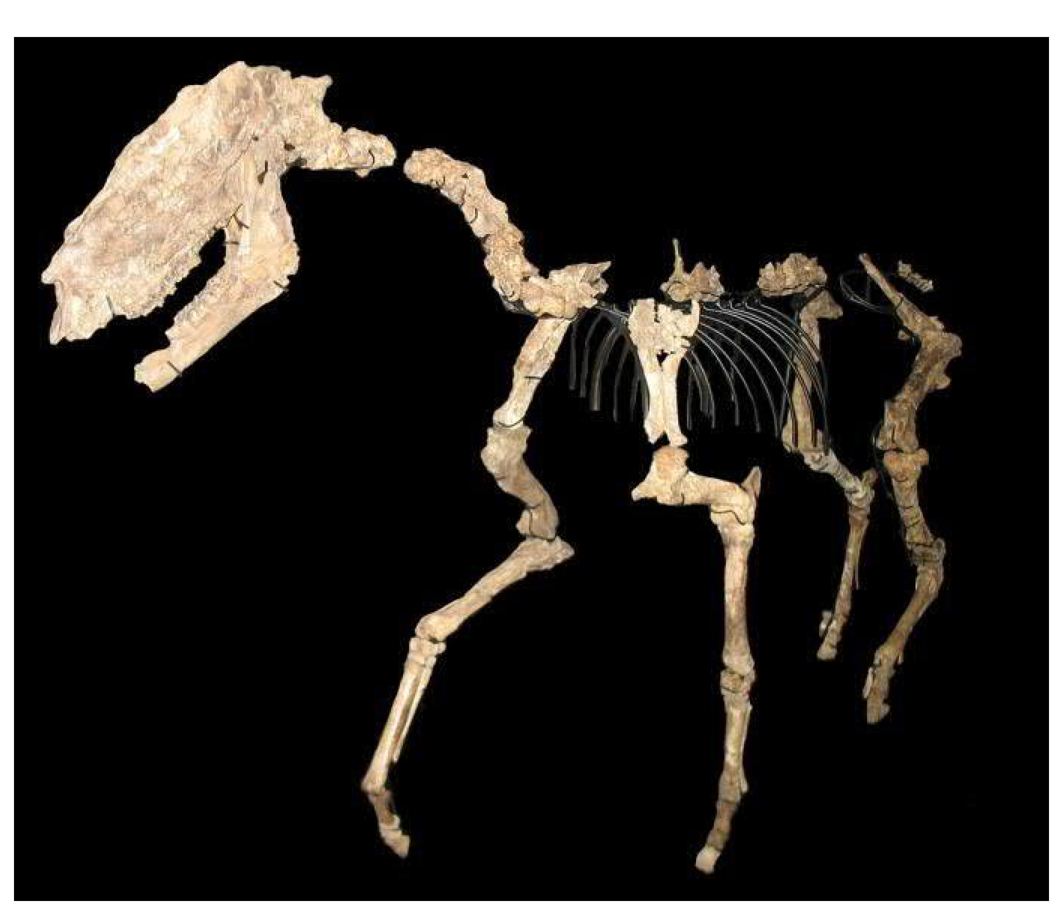
٢ الأُلِجوسين Oligocene: ثالث عصور أو حقب الدهر الحديث، وهو ثالث حقبة من القسم الأول من الدهر الحديث المعروف بالباليوجين أو العصر القديم من دهر الحياة الحديثة.

كمثال، يبدو أن تبرُّدًا مفاجِئًا في مناخات نصف الكرة الأرضية الجنوبي في عصر الأُلِجوسين الأوسط كان له تأثيرات عالَمية، وكان هناك بعض الانقراضات المفاجئة ضمن الثدييات الأمِركية الجنوبية. رغم ذلك، فقد كانت الأحداث اللاحقة أشد قسوةً بكثير.

دهر الحياة الحديثة المتأخر

في عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط][1] تعمَّقَ تثلُّجُ القطبِ الجنوبيِّ، ونمت قبعته الثلجية[2] أو غطاؤه الثلجي إلى حجم ضخم، مؤثِّرًا على مناخ العالم. فتغيَّرَتْ أنماطُ توزُّع النباتات، مما خلقَ أراضي خصبة مكشوفة [متناثرة] أكثر، وَجِدَّة أو اختراعًا كبيرًا في تطور النباتات أنتَجَ العديد من أنواع الحشائش [الأعشاب] التي استعمرَتْ السهولَ المكشوفةَ. تجاوبت الثدييات تطوريًّا بدورها، وتطور نظامٌ إيكُولُجِيٌّ [اعتياشيٌّ] قائم على المراعي العُشبيّة في العديد من القارَّات، والذي استمر مع تغيُّراتٍ حتى العصر الحديث. ستنال قصة الساڤانا الأفريقية تناولًا منفصلًا لاحقًا في هذا الفصل.

سمحت التغيرات المناخية والجغرافية بتبادلات للثدييات بين القارّات [هجرات بين القارّات]، كثيرًا ما كانت في موجات كلما حدثت الفرص. أحد الأمثلة المفضَّلة هي Hipparion، وهو حصانٌ هاجر من أمِركا الجنوبية، من حيث تطور في الأصل الخيول وقضَوْا معظمَ تاريخهم التطوري[3]. لقد انتشر عَبْرَ سهولِ أوراسيا منذ حوالي ١١ مليون سنة ماضية، تاركًا متحجراتٍ له كعلامات أو تسجيلات لحدث رائع مدهش في تاريخ الثدييَّات.



Hipparion laromae

١ المَيوسين Miocene: العصر الحديث الأوسط، امتدت فترته ما بين ٢٥ إلى ٥ ملايين عام ماضية، أو هو أعلى العصر الثلاثي Teriary، وهو بعد الأُلِجوسين Oligocene [الحديث اللاحق] وقبل البلايوسين Pliocene [الحديث القريب].

٢ المقصود هنا Glacier أيْ: المجلدة أو المثلجة أو المُجْمَدة أو النهر الجليدي أو الجليد المتبلور: كساء أَوْ أغطية من الجليد، سميكة، وربما تغطي مساحات كبيرة أَو تكوُن في أودية أَوْ على قِمَم الجبال. وتظهر بهيئة كتلة هائلة من الثلج أَوْ الجليد المتبلور المتحرك. توجد على صورتين: في المثالج القارية أو الغلاف الجليدي حيث تنتشر الكتلة من مركزها في أكثر من اتجاه واحد. وفي المثالج الجبلية التي يسميها البعض نهر الثلج حيث تتحرك الكتلة في اتجاه محدد، وتكون واضحة المجرى وإنْ اختلف اتساعه. وتتكون جبال الجليد حينما تصل المثلجة إلى البحر فتنفصل كتل كبيرة منها وتطفو في عرض البحر. أما قُبَّعات أو قلنسوات الجليد تغطي قِمَم الجبال شاهقة الارتفاع، مشكلة مسطحًا جليديًّا يغطي مساحة متقاربة الأبعاد، أوْ يغطي هضبة كبيرة حيث يكون خط الثلج منخفضاً، وتزحف تلك القلانس أوْ المثالج زحفاً بطيئاً شاملاً تجاه حافات المساحة التي يغطيها.

٣ Hipparion تعني بالجريكية الفرس. وهو نوع من الأحصنة عاش في أمركا الشمالية وآسيا وأورُبا وأفريقيا منذ عصر المَيُوسين وحتى عصر البِلَيِسْتُوسين Pleistocene [العصر الحديث الأقرب، وهو أول عصر في الدور الرابع Quaternary من العصر الحديث ويدعى ايضًا بالعصر الجليدي]، يعني تواجد من ٢٣ مليون سنة وحتى ٧٨١٠٠٠ سنة ماضية، فيكون قد عاش جنسه لمدة ٢٢ مليون سنة. وكانت بيئته السهول الغير غاباتية، المعشوشبة [المكسوة بالعشب] والبراري أو المروج قصيرة العشب والإستبس. كان يشبه الأحصنة الحديثة في كل شيء تقريبًا، ما عدا أنه كان لا يزال لديه إصبعان أثريان خارجيان _بالإضافة إلى حافره_ واللذان لم يكونا يلمسان الأرض. كان طوله حوالي ١,٤ متر عند كتفه. تتراوح تقديرات وزن عينات متحجراته عندما كانت حية ما بين ٦٣ كجم و ١١٩ كجم. لاحقًا انقرضت الأحصنة من قارةِ أمِركا، وعاشت في أقطار أخرى من العالم فقد نجت من الانقراض والاندثار التام بفضل تلك الهجرة خارج موطن تطورها الأصلي، حتى استقدمها الوافدون المحتلون الأوربيون الإنجليز والفرنسيون إلى أمركا مرة أخرى لأغراض الحياة وفي حروبهم مع السكان الأمركيين الأصليين.

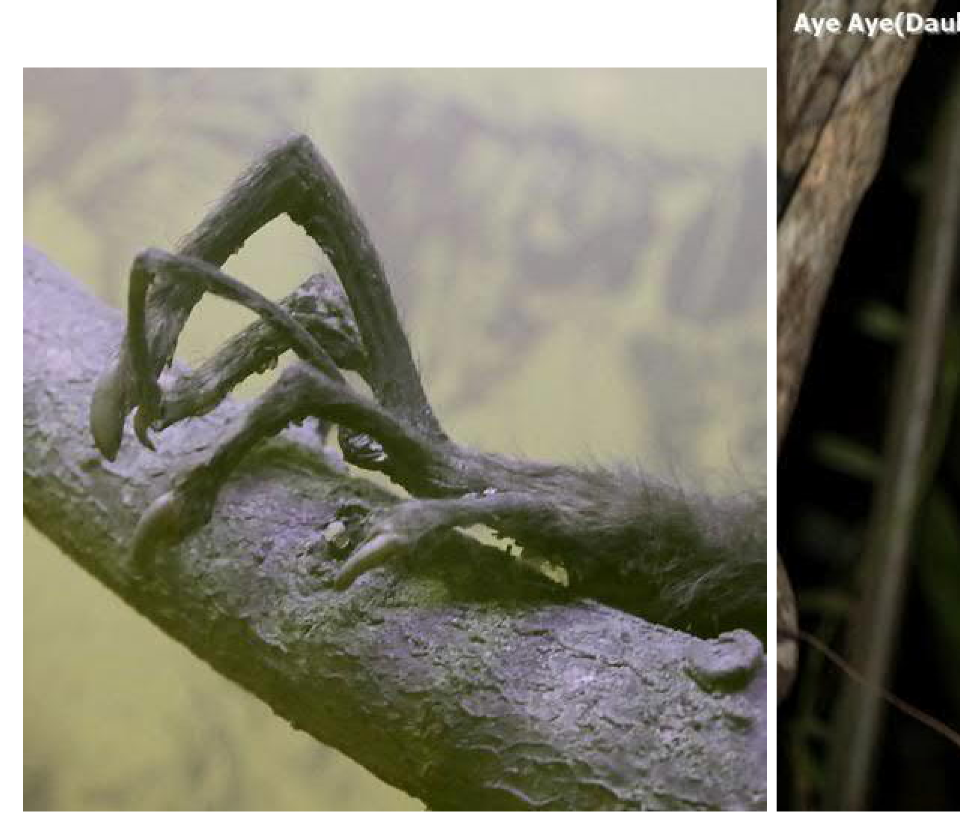
بحلول نهاية عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط]، كانت مستعمَرَات الحياة الحيوانية للثدييات في العالَم قد صارت حديثة على نحوٍ جوهريّ. هناك حَدَثان آخران يتطلّبَان عناية خاصة؛ وهما: السلسلة الكبيرة من العصور الجليدية التي أثَّرَت على كوكب الأرض خلال الملايين سنوات القلائل الأخيرة (في الفصل ٢١)، ونشوء نوع هيمن على الحيوانات وغيَّرَ بدرجة كبيرة مستعمَرات الحياة الحيوانية والنباتية على كوكب الأرض، وهو البشر (في الفصلين ٢٠ و ٢١).

الإحلال البيئي: مفهوم الطائفة الاعتياشية guilds أو طرق الاعتياش المتشارَكة

رغم أن مستعمَرَاتِ الثدييات القديمةِ احتوت على بعض الحيوانات الغريبة المنظر بالنسبة لنا، فإن طرقًا معيَّنة للاعتياش توجد دائمًا في الأنظمة الإيكولُجِيَّة الاستوائية التامَّة التطوُّر. فالحياة النباتية فيها وفيرة ومتنوِّعة، وتوفِّر غذاءً للمُرْتَعِين، والذين هم في العادة متوسطي إلى كبار أحجام الأجساد. أما الحيوانات الصغار الأحجام فيتغذَّوْنَ على الفواكه والبذور والجوز العاليِ السعرات الحرارية. أما التغذِّي على حُبَيْبات اللِقاح والرحيق فيُرَجَّح أكثرَ أنْ يناسب ويدعم حيواناتٍ ضئيلة للغاية. ويتراوح اللواحِم [المفترِسون] من الملتهِمين الصغار الأحجام جدًّا للحشرات واللافقاريّات الأخرى إلى المفترِسين متوسطي الأحجام للثدييّات العواشب، ويمكن أن يكون المتقمِّمون [آكلو الجِيَفِ والفضلات] بأي حجمٍ إلى الحجم المتوسط. قد يكون هناك كائنات أخرى أقلُّ [من جهة عدد الأنواع] أكثرَ تخصُّصًا، مثل الثدييات آكلي النمل وساكني الأشجار وآكلي الفواكه الطائرين والصائدي الأسماكَ.

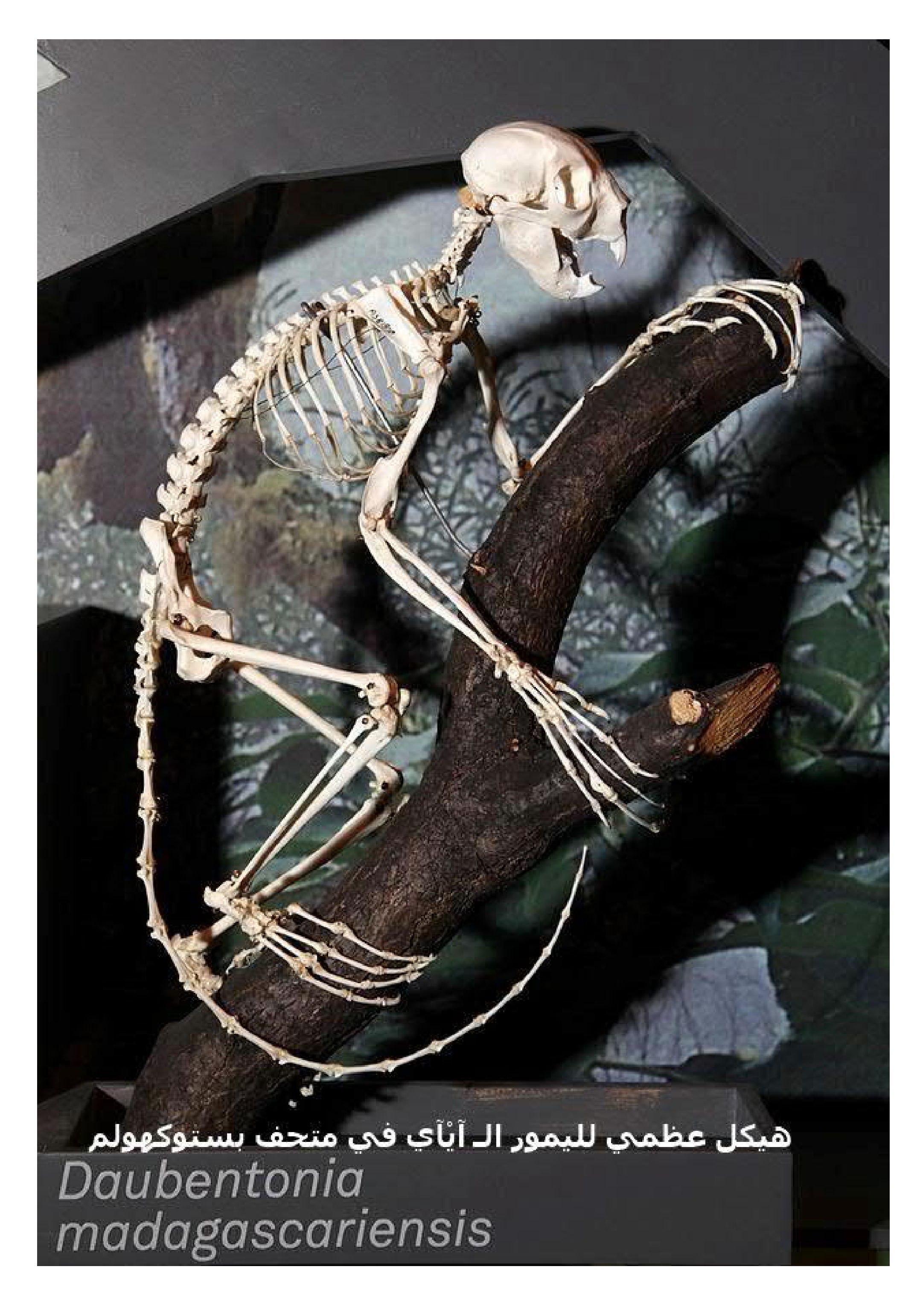
تُدْعَى طرق الحياة التي تطورت مرارًا وتكرارًا في المجموعات المختلفة للكائنات المتعضِّية والتي [الطرق] يسهُل تصنيفها بلا جدال باسم الطوائف الاعتياشية guilds، وتساعدنا معرفتُها على فهم تعقيد تطور الثدييات على القارّات العديدة خلال أكثر من ستين مليون سنةٍ.

كمثال، تتضمن الطائفة الاعتياشية الخاصة بنقر الخشب الكثير من الكائنات الحية التي تأكل الحشرات التي تعيش تحت لحاء الأشجار. تقوم طيور نقَّار الخشبِ بهذا على معظم القارّات. إن لها رؤوسًا ومناقيرَ متكيِّفة خصِّيصًا لثَقْبِ الحُفَرِ عبْرَ اللِّحاء، وألسنة طويلة جدًّا للبحث عن الحشرات بالجس. لكنْ لا توجد طيور نقَّار الخشب على جزيرة مدغشقر، حيث يشغَلُ الليمور الصغير الحجم الآيْآي aye-aye (Daubentonia)[1] ذو حجم القط نفسَ الدور الاعتياشي. إن لديه أسنانًا قواطعَ دائمةَ النمو، مثل الخاصة بالقوارض، وبدلًا من استعمال منقار ولسان طويل مثل الطيور النقَّارة للخشب، فإنه يقضم الخشب بأسنانه ويَسْبِر بحثًا عن الحشرات بإصبعٍ طويلٍ للغاية.





[1] الآآي هو تكرار لصوت أو اسم فعل فرنسي يعني الدهشة أو أتعجب! أما الاسم العلمي له Daubentonia أو الدابِنْتُنتيّ فهو تكريمًا لعالم الطبيعة الفرنسي Louis-Jean-Marie Daubenton أطلقه عليه تلميذه Étienne Geoffroy Saint-Hilaire.



وفي جينيا الجديدة [نيو جينيا] وبابوا الغربية وإندونيسيا، حيث لا توجد رئيسيات ولا طيور نقَّارة للخشب، تطوَّر في الثدييّ الجِرابيّ التريوك طويل الإصبع (long fingered triok) أو Dactylopsila palpator [ذي الأصابع العارية من اللحم نوع الطويل الإصبع أو السابر بإصبعه] أسنان متخصِّصة وإصبع طويل جدًّا لنفس الأسباب. ولأن هذه الثلاثة أنواع كلها تنتمي إلى نفس الطائفة الاعتياشية [طريقة الحياة]، فإنَّ فهم تكيُّفاتِ أيٍّ منها يساعدُنا على فهم باقي الأنواع الأعضاء [في هذه الطائفة الاعتياشية]. وفي جزر الجالاباجوس، لا يمتلك طائر الحَسُّون [البُرْقش] من نوع البرقش الحافر أو المثقِّب للخشب من نوع (Camarhynchus pallidus) woodpecker finch [ومعنى اسمه العلمي اللاتيني البرقش السابر للخشب أو المخوزق (بشوكة الصبار)] منقارًا طويلًا بل يستعمل أداةً _عادةً ما تكون شوكةَ صبارٍ_ ليبحثَ بها في الصدوع. وفي أستراليا تشغَل بعضُ أنواعِ الببغاواتِ ذوات العُرْفِ [الكَكَتُوْ] كُوَّةَ دَوْرِ ثَقْبِ الخشب، لكنها تعتمد على القوة العنيفة لمناقيرها لتمزيق اللحاء، ولم تتطوَّر فيها أدواتُ السَبْرِ والاستخراج المعقَّدة الخاصة بالأنواع الأخرى. لقد تطوَّرَ في نوعٍ ثدييٍّ آخر أدواتٌ لثَقْبِ الخشبِ منذ خمسين مليون سنة. فقد كان لدى Heterohyus من عصر الإيوسين في جِرمانيا أسنانٌ قواطعُ مثلَّثة الشكل قوية، وكان الإصبعانِ الثاني والثالث من كل يدٍ من يديه طويلين جدًّا وذوي مخالبَ حادَّةٍ عند نهايتيهما.











بعض الطوائف الاعتياشية لم تكن متوقَّعةً بالنسبة لي. كمثال، هناك طائفة اعتياشية قابلة للتمييز خاصة بالثدييات الصغيرة الأحجام التي تعيش وسطَ الصخور. فمن حيوانات المرموط marmots [نوع من القوارض] إلى حيوانات الوَبْر [الزَّلَم] والشِّنشيلة chinchillas [حيوان جنوبي أمِركي من القوارض]

وحيوانات البيكة pikas [حيوان ثديي صغير من فصيلة الأرنبيات] وحيوانات وَلَب [كُنَيْغرات] الصخور، تبدو تلك الثدييات الصغيرة الأحجام الساكنة وسط الصخور على القارات العديدة متشابهة وتتصرف على نحو متماثل وحتى تُصْدِرُ أصواتًا متشابهةً.

بالتأكيد لا يوجد لزوم أو حتمية بأن طائفةً اعتياشيةً ما لن تشغلها مجموعةٌ رئيسية واحدة فقط. ففي المناطق الاستوائية في العصر الحالي، الحيوانات الصغيرة الأحجام القاطنة الأشجار التي تتغذَّى ليلًا كلها تقريبًا ثدييّاتٌ، بينما المتغذِّياتُ القاطنةُ الأشجارَ النهاريَّةُ كلها تقريبًا طيورٌ. معظم المفترِسين والمتقمِّمين المتوسطي الأحجام هم ثدييّات، بينما تكون الطيور الجوارح كفؤة جدًّا في أوزان الأجساد الصغيرة.

ثدييّات دهر الحياة الحديثة تشغَلُ الطوائف الاعتياشية التي كانت خاصة بالديناصورات

كانت كل ثدييّات دهر الحياة الوسطى صغار الأحجام، ويدل حجم الجسد الصغير على أن الحيوان ذا الحجم الصغير يستطيع أن يقوم بعدد محدود من الأدوارِ الإيكولُجِيَّةِ فقط، على نحوٍ رئيسيٍّ أكل الحشرات والقارتية [القَرْتِيَّة: التغذِّي على اللحوم والنباتات معًا]. عندما اندثرت الديناصوراتُ عند نهاية العصر الطباشيري، سرعانَ ما تطوَّرَ بعض الثدييّات المبكِّرة الخاصة بعصر الباليوسين [أقدم عصور دهر الحياة الحديثة، الحديث الأقدم] ليستولوا على أدوراهم الإيكولُجيّة [الاعتياشية]، على وجه الخصوص القارتيّة [القَرْتِيَّة] والاعتشابية. في حين استمر آخرون في شغل نفس الطوائف الاعتياشية الخاصة بالأحجام الصغيرة التي كانت ثدييّات دهرِ الحياة الوسطى قد شَغَلَتْها لمدة مئة مليونِ عامٍ. وحتى العصر الحاليّ، فإن ٩٠% من كل أنواع الثدييّات يزن الفردُ منها أقلَّ من ٥ كيلوجرامات (١١ رطلًا).

هيمنَتْ الديناصوراتُ على الكثيرِ من الطوائف الاعتياشية في العصر الطباشيري، بما فيها الخاصة بالمرتعين الكبيري الأحجام. كان معظمهم _ مثل الديناصورات القَرْناء وذوات المنقار وذوات الأسنان الشبيهة بأسنان سحلية الإجوانا ceratopsians, hadrosaurs, and iguanodonts_ يزن الفردُ البالغُ منهم حوالي ٥ إلى ٧ أطنان. لقد أبادَ انقراضُ العصر الطباشيري– التِرْشِري أو الثلاثي كلَّ تلك الكائنات الحية، ولم تُشْغَل تلك الطائفة الاعتياشية مجدَّدًا من جانب الثدييات الكبيرة الأحجام حتى حلول عصر الباليوسين [الحديث الأقدم، أقدم عصور دهر الحياة الحديثة] المتأخر.

رغم أن بعض الطيور معتشِبات [نباتية] كبيرة الأحجام (النعام قارتة، لكن معظم غذائها هو بالارتعاء على أوراق الشجر)، فإن الثدييات هم المُرْتَعُوْنَ المهيمِنون في العصر الحالي. حتى في بداية عصر الباليوسين [الحديث الأقدم] نفسها، هيمَنَتْ على الثديياتِ ليس الثديياتُ آكلو الحشرات بل ذواتُ الحوافِرِ المبكِّرةُ المعتشِبة في معظم غذائها. فمتأخرًا جدًّا في العصر الطباشيري، كانت بعض الثدييات قد تطوَّرَ فيها ضروسٌ أكثرُ تعقيدًا بكثير من الضروس ذوات الثلاث قمم tribosphenic الخاصة بالثدييات آكلي الحشرات. سمحت الضروس الجديدة بحركاتِ فكٍّ معقَّدة بل وهي تتطلبها، كما سمحت بتقطيع وطحن أكثر بكثير من ذي قَبْلُ. سمحتْ القدرةُ على الطحن أكثر والتعامل مع طعام أقسى وأخشن للثديياتِ بالتحول إلى أنظمة غذائية نباتية منخفضة السعرات الحرارية.

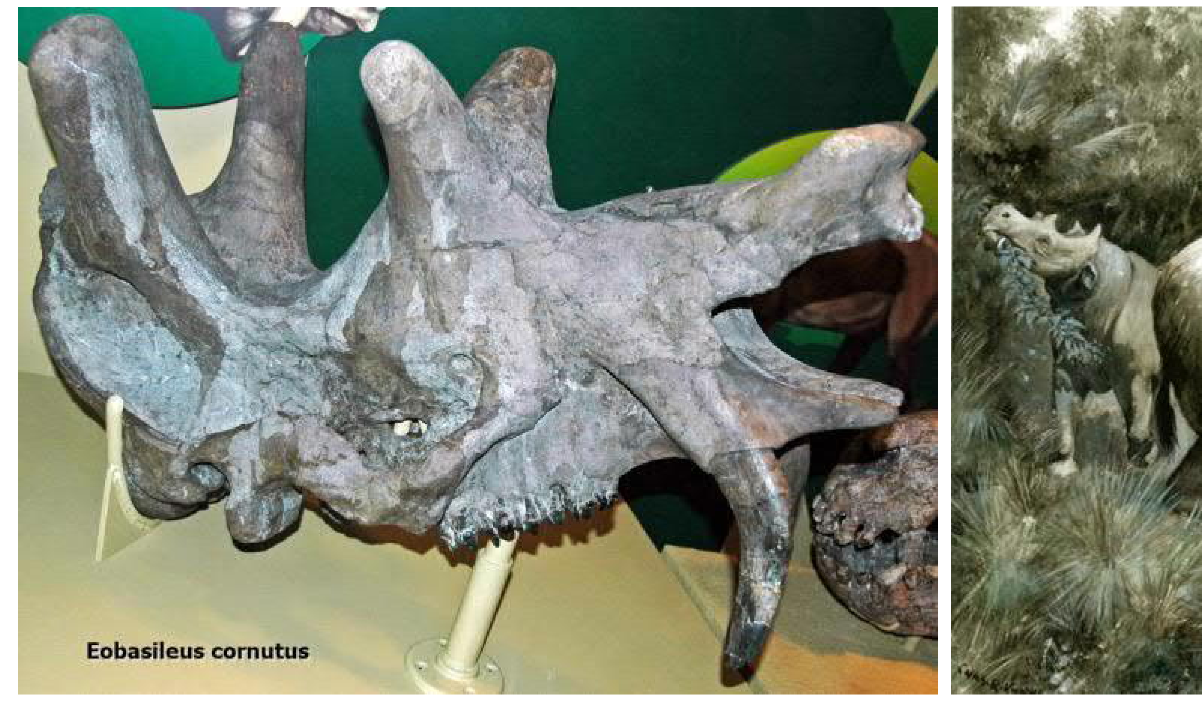
يبدو أن هناك شيئًا ما خصوصيًّا بخصوص حد الوزن بـ ٥ إلى ٧ أطنان بالنسبة لأكبر العواشب البريَّة. لقد انطبق هذا الحدُّ على كل فصائل وأجناس الديناصورات ما عدا الديناصورات ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحالي sauropods، وقد انطبق وينطبق بوضوح على كل الثدييات منذ نشأتها، بما في ذلك الأفيال والخراتيت الأحياء المعاصرين. ربما هناك سبب ما لهذا الحد متعلق بالتمثيل الغذائي، مترافق مع حقيقة أن أوراق النباتات والغصينات المُرْتَعى عليها منخفضة السعرات الحرارية. لقد قارَبَت وزنَ الـ ٥ إلى ٧ أطنانٍ مجموعاتٌ مختلفةٌ من الثدييّات في القارَّات المختلفة في العصرين الباليوسيني [الحديث الأقدم، أقدم عصور دهر الحياة الحديثة] والإيوسيني [فجر الحديث، ثاني عصور دهر الحياة الحديثة] (الصورة ١٧– ٣). أفضل سجل متحجرات لهذا هو في أمرِكا الشماليّة، حيث خَلَفَت [تَلَت، أَعْقَبَتْ] الـ uintatheres والـ titanotheres [يعني اسمهم الحيوانات (الثديية) العملاقة] الديناصوراتِ.

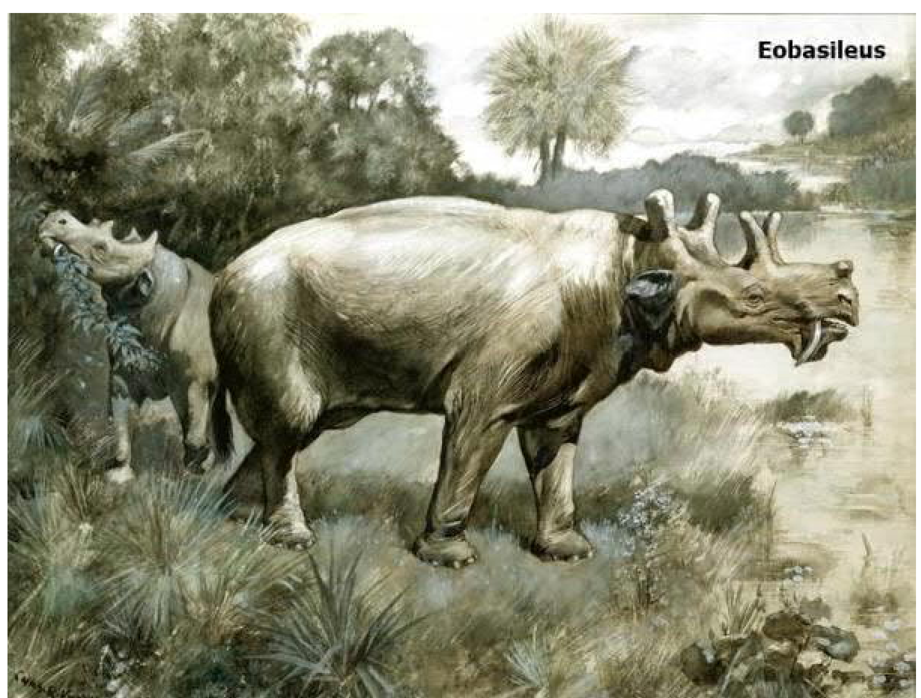
كانت الـ uintatheres [الثدييات اليُونْتِيَّة] (الصورة ١٧– ٥) الأنجحَ في القارّات الشماليّة، لكنْ ربما كانوا قد نجحوا في العبور من موطنٍ أصليٍّ في أمرِكا الجنوبيّة في عصر الباليوسين. لقد كان لهم هياكل عظمية ضخمة وازدادوا حجمًا تدريجيًّا بالتطور خلال العصرين الباليوسيني والإيوسيني. لقد كان لهم أسنان نابيَّة كبيرة مُعَدَّلة إلى سيوف قاطعة، لكنهم لم يكونوا لواحِمَ. وكانت تُسْتَخدَم الضروس المسطَّحة الكبيرة لطحن النباتات. لقد كانت الأسنان السيفية

علـى الأرجـح للتنـافس بـين البـالغين، (قـارن آخـر مجموعـة زمنيًـا مـن الزواحـف ذوي الثقـب الصـدغي الواحـد الكبـار الأحجـام، مثـل النـوع Estemmenosuchus [يعني اسمه الزاحف المُتَوَّج] في الصورة ١٠ -١٤، فهو تطور متناظر متلاقٍ وتشابه إيكولُجِيٌّ). وكان Uintatherium نفسُه [الذي اشتُقَّ منه اسم الرتبة، ويعني ثديي جبل يُونِْتا] بحجم وحيد القرن.



الصورة ١٧- ٥ Uintatherium، أحد الأنواع الأعضاء في مجموعة رئيسية منقرضة من الثدييات العاشبين الكبار الأحجام في أمِركا الجنوبيّة في العصرين الباليوسيني والإيوسيني، من الوحشيات الحقيقية، رتبة عليا وحشيات لوراسيا Laurasiatheria، رتبة Dinocerata القرناء الرهيبة، الفصيلة uintatheres.

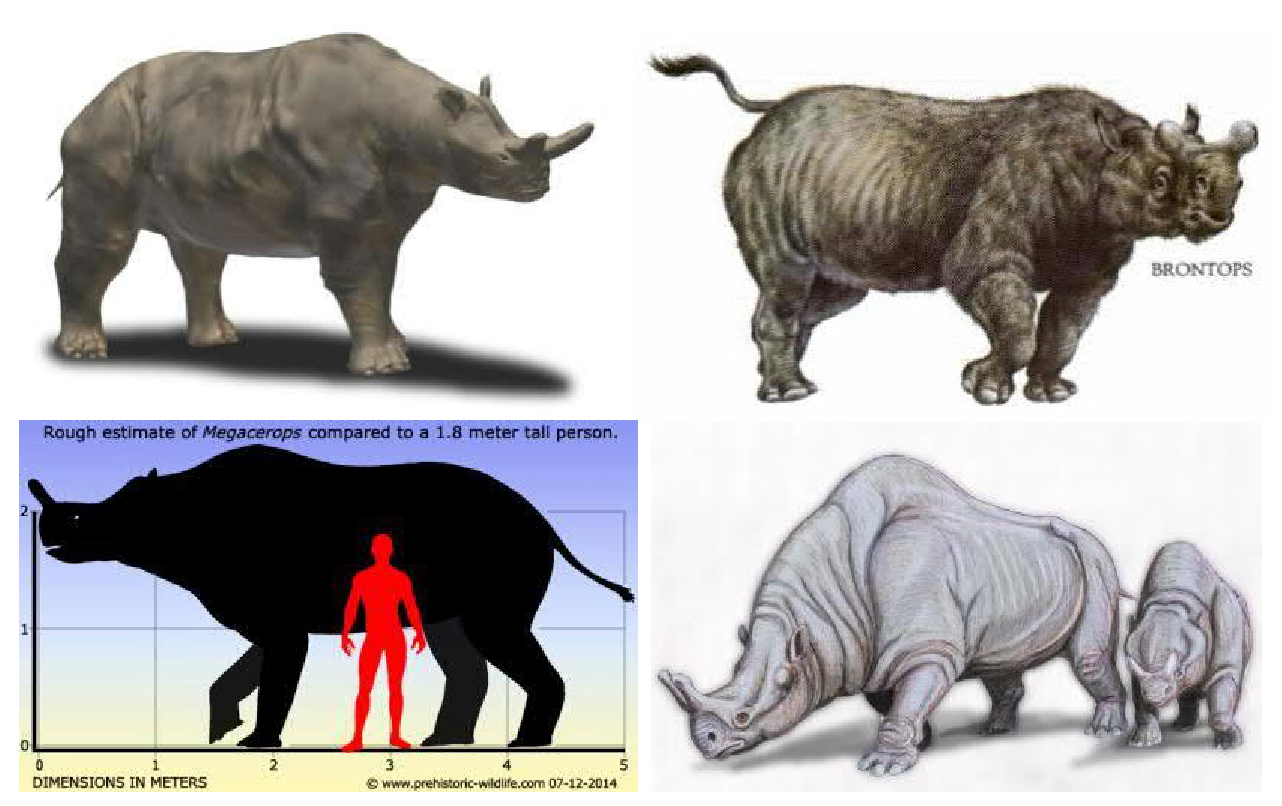






بعض متحجرات وإعادات بناء الـ uintatheres أي الثدييات اليُونْتِيَّة العملاقة

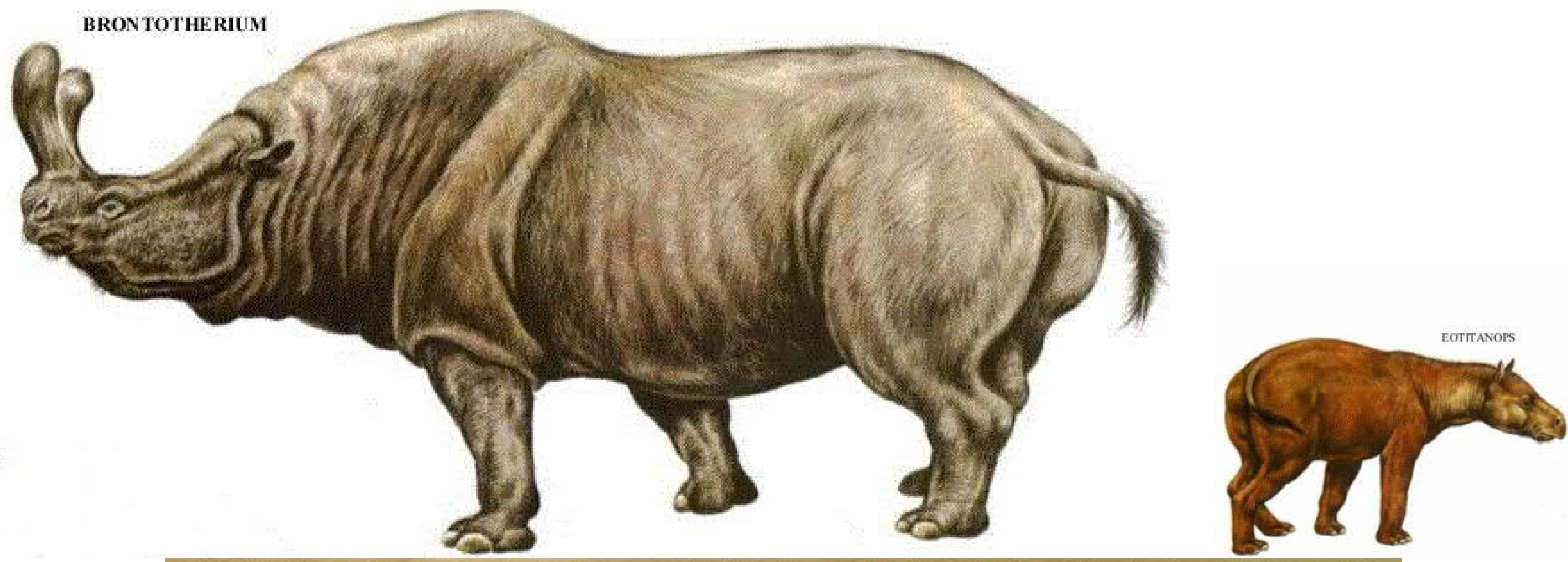
حَلَّ محلَّ تلك الثديياتِ العواشبِ الكبارِ الأحجامِ في الطائفة الاعتياشية الخاصة بالعواشب الكبار الأحجام في أمِركا الشماليّة، ولاحقًا في آسيا، وحيداتُ ظلفٍ مِنْ فصيلةٍ تُدْعَى بالـ titanotheres [الحيوانات (الثديية) الضخمة] (أو تُعرف كذلك بالـ brontotheres [الثدييات الهائلة أو الرعدية ربما بافتراض أن أصوات مشيها كانت عالية تكاد تهز الأرض كما في خرافة الأمِركِيين الأصليين حول متحجراتها]). لقد كانوا صغيري الأحجام في عصر الإيوسين المبكِّر، وبحلول عصر الإيوسين الأوسط كانوا قد صاروا كبارَ الأحجامِ، وعند نهاية عصر الإيوسين كانوا قد صاروا ضخامًا للغاية (الصور ١٧– ٦ و١٧– ٧). وقد تطوَّرَ فيهم قرونٌ ثلماء [غير حادَّة] عندما تطوَّروا إلى أحجامٍ جسديةٍ كبيرةٍ. لقد فُسِّرَت القرونُ من جانب العلماء على أنها أدواتُ تناطُحٍ، لكن معظمها كانت ذوات شكلٍ وموضعٍ على الرأس كان سيكون أفضل تطوريًّا كتركيبٍ جسديٍّ للتدافع والتصارع (الصورة ١٧– ٧). انقرضت الـ titanotheres [الحيوانات (الثديية) الضخمة] عند نهاية عصر الإيوسين، وشغَلَ دورَ طائفتها الاعتياشية الخراتيتُ الحديثو المظهرِ في أوراسيا وأمِركا الشمالية. ولاحقًا، شاركَها الأفيالُ هناك في ذلك الدور الاعتياشي، والذين كانوا قد تطوَّروا في قارَّة أفريقيا لكنْ لم يغادر بعضُم تلك القارَّةَ حتى عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط].

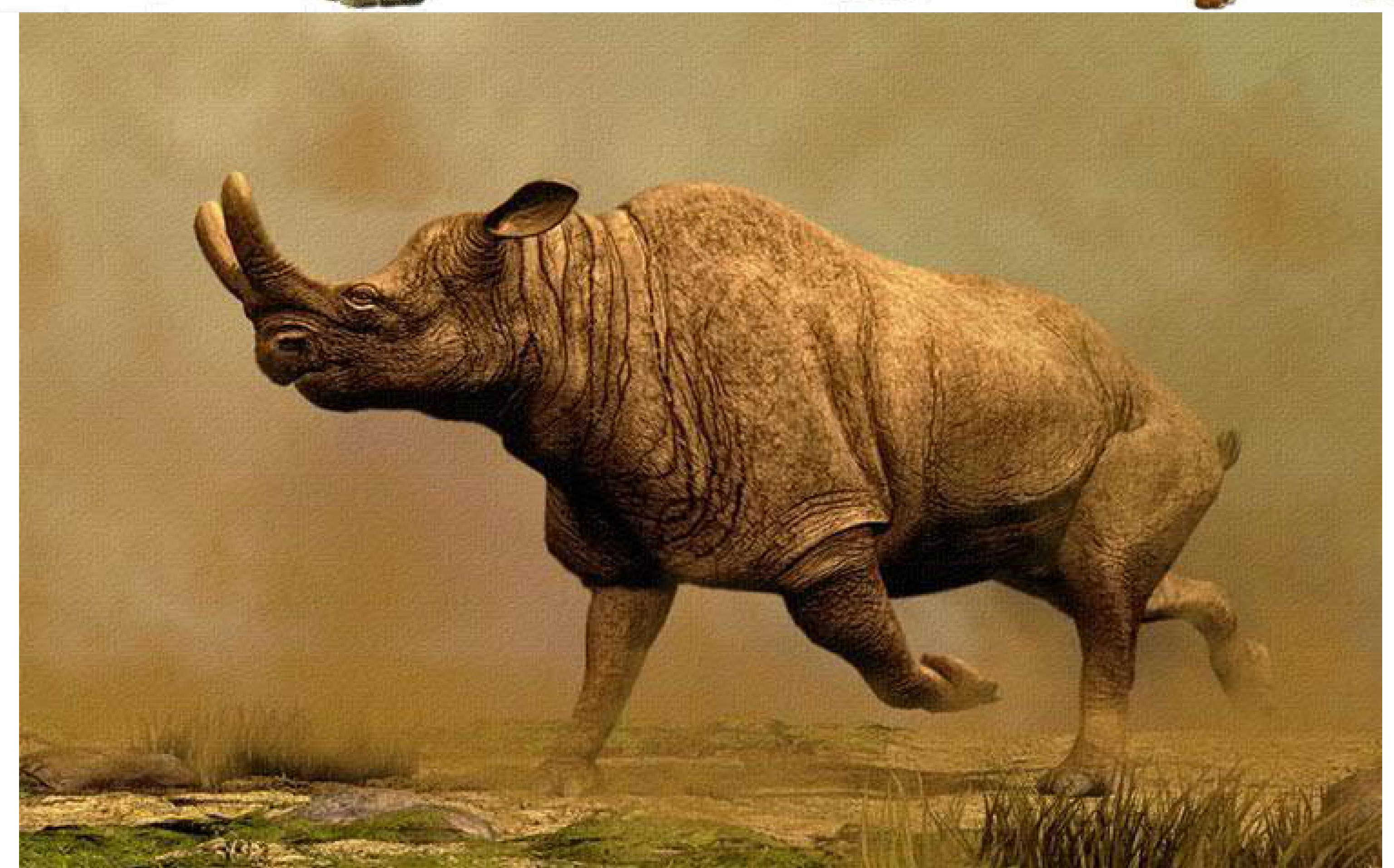


الصورة ١٧- ٦ إعادات بناء لـ Brontops من عصر الإيوسين [ثاني عصور دهر الحياة الحديثة]، ويعرف كذلك باسم Megacerops [يعني ذو القرنين الكبيرين]، وهو من فصيلة titanothere [يعني اسمها الحيوانات الثديية الضخمة]



الصورة ١٧- ٧ تطورت الـ Titanotheres [يعني اسمها الحيوانات الثديية الضخمة] إلى أحجام جسدية كبيرةٍ جدًّا ما بين العصرين الإيوسيني المبكر والأُلِيجيني المبكر. يظهر في الرسم (أ)- ١ نوع مبكر صغير الحجم من الـtitanothere هو Eotitanops [يعني اسمه وجه أو بداية الثدييات العملاقة في فجر التاريخ]، و(أ)- ٢ نوع عملاق متأخر زمنيًّا هو Brontotherium في وضعِ استعراضٍ. وفي الرسم (ب) يظهر Brontotherium ماشيًا في وضعه الطبيعي برأسه متموضعة إلى أسفل. يبدو القرنان الهائلان لي كبينيوات أو أدوات تصارع وليس أدوات تناطح.

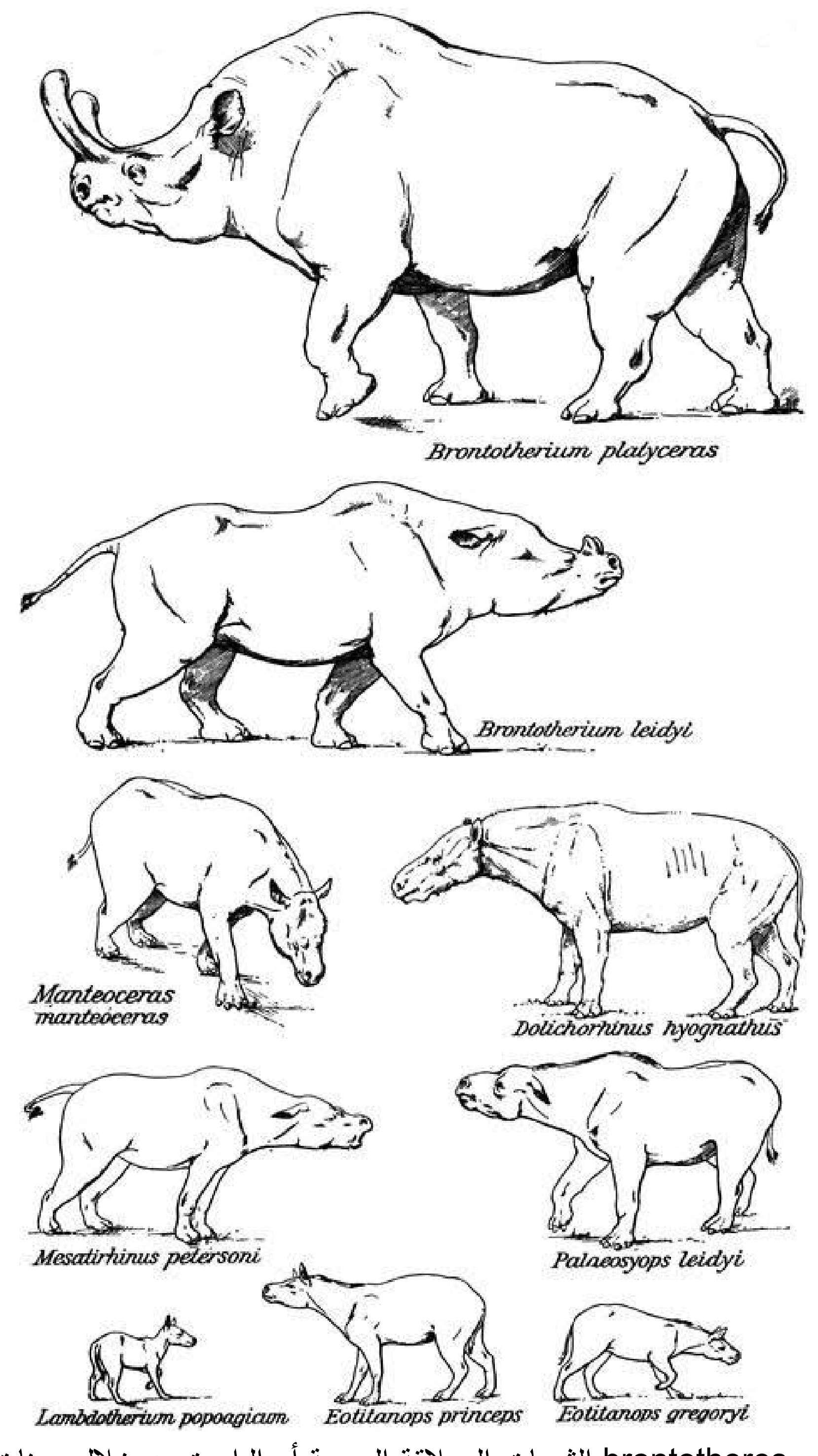






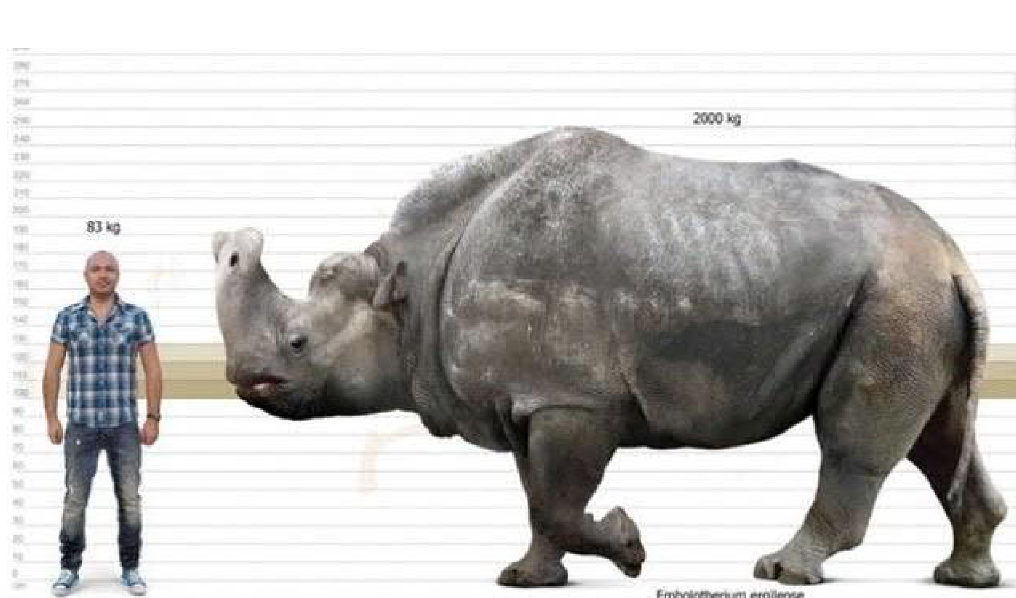


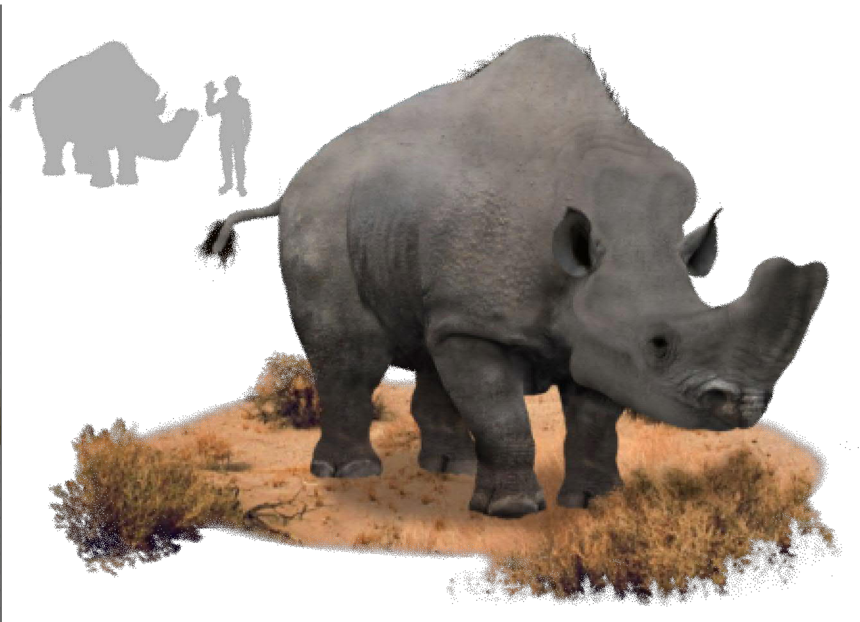
Brontotherium



تطور أحجام Titanotheres أو brontotheres الثدييات العملاقة الرعدية أو الراعدة من خلال عينات متحجرات أنواعها عبر الزمن

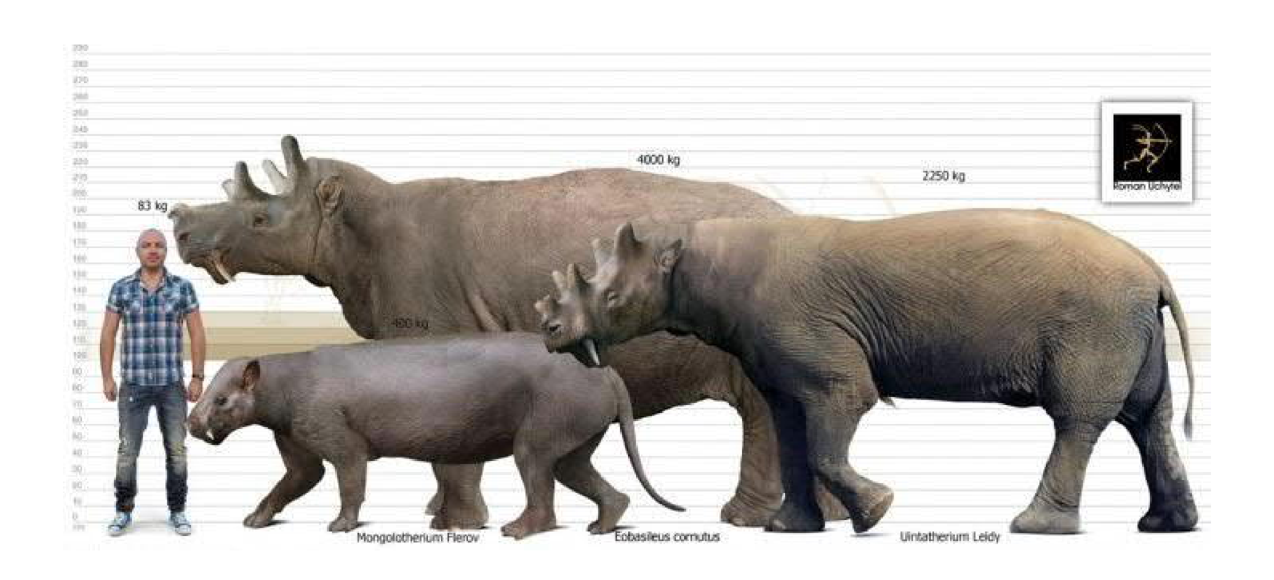


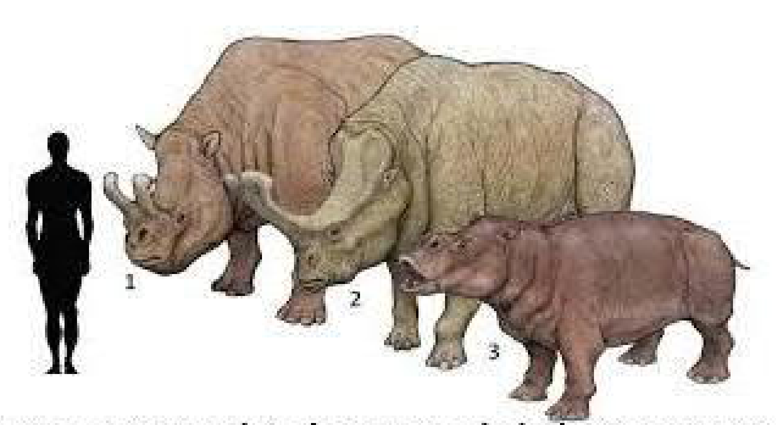


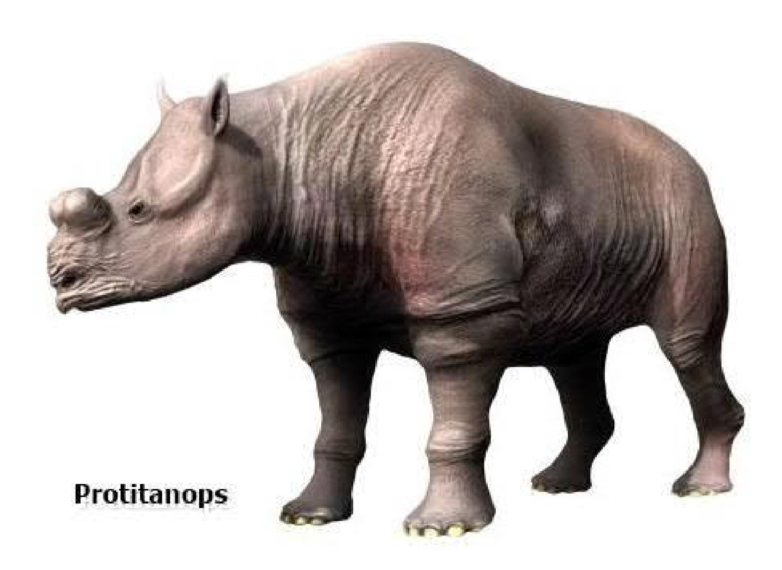




الحيوان الناطح أو ذو الأسافين Embolotherium andrewsi









جمجمة Rhinotitan Mongoliensi [شبيه الخرتيت العملاق المنجولي] من متحف علم الحيوانات العتيقة في الصين، وهو من الـ Titanotheres

الـ Creodonts[1] [المفترسات العتيقة، ومعنى الاسم حرفيًّا ذوات الأسنان الآكلة للحوم] واللواحم الحديثة، حلول أم إزاحة إيكولُجِيَّة؟

كما علمنا، فإن الطائفة الاعتياشية الخاصة باللواحم ذوات الأحجام الكبيرة التي صارت شاغرةً بانقراض الديناصورات شَغَلَتْها في عصر الباليوسين التماسيح والطيور الغير طائرة. كانت الكثير من الثدييات المبكرة آكلة للحشرات وصار بعضها لواحم فقط مع تطور حجم أكبر فيها. إن نجاح ذوات الحوافر ungulates اللاحمة المبكرة المستجدَّة آنذاك كثدييات لاحمة مبكرة وفرائسها المستهدَفة الصغيرة يمكن ملاحظتها في المتحجرات من خلال أسنانها القاضمة والقاطعة الممزِّقة وفكوكها القوية وأقدامها القوية ذوات المخالب.

معظم الصيادين المبكرين كانوا creodonts [ذوات الأسنان الممزقة للحم، المفترسات العتيقة، السيرودونتات]. تضمَّنت السيرودونتات فصيلة oxyaenids الأُكْسْيانيَّات [شبيهات الضباع ظاهريًّا]، والتي يُرجَّح أنها كانت مفترسات تكمُن للاصطياد، وفصيلةَ hyaenodonts [ذوات الأسنان الشبيهة ظاهريًّا بأسنان الضباع] التي كانت أنواعًا راكضة. وكانت بعض mesonychids متوسطات المخلب لواحم أو متقممات أيضًا. كانت تلك الثدييات هي الحيوانات المفترسة اللاحمة المهيمنة الصغيرة والمتوسطة الأحجام في الأنظمة الإيكولُجِيّة الخاصة بالعصرين الباليوسيني والإيوسيني.

ظهرت بعض الثدييات اللاحمة الصغيرة الأحجام _وهي المياسيسيَّات miacids [أو الرتبة التي تحدر عن أحد أو بعض أنواعها اللواحم المعاصرة][2] _في عصر الباليوسين الأوسط قبل نهايته بعشرين مليون سنة فقط. وظلت قليلة الأعداد وصغيرة الأحجام، وعاشت بجوار المجموعات اللاحمة الأكبر السيرودونتات creodonts [أو ذوات الأسنان الآكلة للحم] ومتوسطات المخالب mesonychids. عند نهاية عصر الإيوسين انقرضت كل المفترسات الأكبر حجمًا ما عدا قليلًا من فصيلة hyaenodonts [ذوات الأسنان الشبيهة ظاهريًّا بأسنان الضباع]، ومرت miacids المياسيسيَّات بتشعُّبٍ تطوريّ أَنتَجَ كل الأنواع الحديثة من اللواحم؛ العرسيّات (ابن عرس وكلاب البحر والغرير) والزَبَادِيَّات (النموس والزَبَاد أو الزُهْم) والكلبيات (الكلاب والذئاب والثعالب) والقططيات أو السنوريات وأشباه القطط (القطط والقطط الكبيرة كالأسد والنمر والفهد وأشباه القطط كالضباع)، والدببيَّات (الدببة وأسلافها وأقارب أسلافها) و nimravids [يعني اسمهم الصيادين العتيقين] (أشباه القطط أو القططيات الزائفة ذوات الأنياب السيفية، من رتبة أشباه القطط [ذوات الصفات والأشكال الشبه قططية] والقططيَّات Feliformia وليست من فصيلة القططيَّات الحقيقية Felidae).

[1] المفترسات العتيقة أو السيرودونتات [تعني ذوات الأسنان الآكلة للحم] هي رتبة منقرضة من الثدييات عاشت من عصر الباليوسين إلى الميوسين. كانت المفترسات العتيقة مجموعةً بارزةً من الثدييات آكلات اللحوم، حيث عاشت قبل ٥٥ إلى ٣٥ مليون سنة في براري أفريقيا وأوراسيا وأمريكا الشمالية، وكانت الضواري المهيمنة على برية أفريقيا خلال عصر الأوليجوسين. وقد تنافست المتفرسات مع متوسطات المخالب والإنتيلودونات، ثمَّ صمدت بعد انقراضهما في بداية عصر الأوليجوسين ومنتصف الميوسين على التوالي، إلا أنها خسرت الهيمنة في تلك الحقب، حيث انتقلت إلى آكلات اللحوم الأخرى من الثدييات. انقرض آخر جنسٍ من المفترسات قبل ثمانية ملايين سنة خلال عصر المَيُوسين، وباتت اللواحم الحديثة تشغل مكانها اليوم. وبسبب أن المفترسات العتيقة واللواحم الحديثة كلا المجموعتين لديهما أسنان قاطعة للحم carnassial فقد اعتقد العلماء قديمًا أنهما يتشاركان سلفًا مشتركًا، لكن بالنظر إلى اختلاف الأسنان المتضمنة في تكوين الأسنان القاطعة للحم (سواء فيما بين المجموعتين، وفيما بين مجموعات السيرودونتات المفترسات العتيقة) فيتضح أنها حالة من حالات التطور المتقارب المتناظر. والأسنان القاطعة للحم وُجِدَت في فروع تطورية أخرى من الثدييات مثل الخفاش المنقرض Necromantis، حيث تطورت على نحو مستقل عدة مرات. امتدت السيردونتات أو ذوات الأسنان الآكلة للحم على مدى جغرافي وزمني طويل. من الباليوسيني المتأخر حتى الأُلِجوسيني المتأخر في أمركا الشمالية، ومن الإيوسيني المبكر حتى الأُلِجوسيني المتأخر في أورُبا، ومن الإيوسيني المبكر حتى الميوسيني المتأخر في آسيا، ومن الباليوسيني حتى الميوسيني المتأخر في أفريقيا.

[2] المياسيسيَّات miacids اسمها مشتق من أحد أنواعها وهو miacis ويعني اسمه أم أو أصل الحيوانات (اللاحمة)، حيث يُعتقَد أن أحد أو بعض أنواع تلك الرتبة تحدَّرَ عنه أو عنهم اللواحم المعاصرة.

هل تطور في المياسيسيَّات فجأةً سمةٌ أو سماتٌ ما مكَّنَتْهم من التغلب في التنافس على ذوات المخالب المتوسطة mesonychids وذوات الأسنان الممزقة للحم creodonts؟ أم هل مكَّن المياسيسيَّاتِ اندثارُ منافسيها من التطور إلى لواحم أكبر حجمًا؟ بعبارة أخرى: هل كان ذلك التغير في الطائفة الاعتياشية الخاصة بالافتراس نتيجةَ إحلال أم تنافس؟ لقد عُزِيَ انقراض السريدونات creodonts [ذوات الأسنان الآكلة للحم] في مرات عديدة للذكاء المتزايد الخاص باللواحم الحديثة أكثر من السيرودونات و/ أو لتكيفات ركضٍ أفضل.

تعامل Leonard Radinsky مع هذا السؤال في عام ١٩٨٢م بدراسة بنية جماجم اللواحم الحية المعاصرة. إن للأربعة مجموعات الأكبر الخاصة باللواحم _وهم الزباديَّات والكلبيَّات والقططيَّات والعرسيَّات_ جماجم مختلفة على نحو واضح تعكس الطرق المختلفة التي تعض وتقتل بها. فالقطط والعرسيات لهم فكوك قوية قصيرة، ويقتلون الفرائسَ الصغارَ الأحجام بعضة قوية في مؤخرة العنق. أما القطط الكبيرة فتقتل الفرائس الأكبر حجمًا بعضة قوية في الرقبة تخنق الضحية. من جانب آخر، فالكلبيات لهم فكوك طويلة نحيلة، وهم يقتلون الفرائس برَجٍّ أو صدم الرأس. أما الفرائس الكبار الأحجام فيستطيعون قتلها فقط بمهاجمتها في جماعة أو قطيع.

أمِلَ Radinsky أن يتمكَّنَ من تمييز قدرة جديدة على القتل ضمن المياسيديَّات منحتها أفضليةً تنافسيةً على السريدونات، لكنه لم يستطع العثور على أفضلية. باختصارٍ: ليس هناك جِدَّة أو تجديد رئيسي وراء [أي كسببٍ] لتشعُّبِ اللواحم الحديثة.

وبدون وجود تجديد أو ابتكار تطوري، فبالتالي لا بد أن اللواحم الحديثة نجحوا لأن منافسيهم الأكبر حجمًا اندثروا لأسباب مجهولة، بالإضافة إلى مجموعات ثديية أخرى [انقرضت معهم] عند نهاية عصر الإيوسين في حَدَث الفارقة العظيمة أو الفاصم الكبير La Grande Coupure[1]، فهذا مثال على الإحلال في طائفة اعتياشية، وليس الإزاحة.

آخر الأدلة التي تدعم هذه الحُجَّةَ يتناول آخر فصيلة ظلت على قيد الحياة من السريدونات creodonts [ذوات الأسنان الآكلة للحم أو المفترِسات العتيقة]، وهي الـ hyaenodonts [ذوات الأسنان الشبيهة ظاهريًّا بأسنان الضباع]. فقد اندثرت الـ mesonychids [ذوات المخالب المتوسطة] عند نهاية العصر الإيوسي، وبعدئذٍ صارت مجموعة ناجية من الـ hyaenodonts [ذوات الأسنان الشبيهة ظاهريًّا بأسنان الضباع] كبيرة الأحجام جدًّا، حالَّةً محلَّهم. لم تشغَل اللواحمُ الحديثةُ دورَ المفترِسينَ الكبار الأحجام حتى عصرٍ لاحقٍ، في عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط]، بظهور القططيات والكلبيات الأكبرِ حجمًا.

قصة الساڤانا

الساڤانات الحديثة المعاصرة

كشَفَ بحثٌ قامَ به Samuel McNaughton وزملاؤُه حول الأنظمة الإيكوُجِيّة الخاصة بالارتعاء في الساڤانا الخاصة بشرقي أفريقيا عن أنماطٍ ربما تكون منطبقة أيضًا على الكثير من الأنظمة الإيكولُجِيَّة الأخرى المختلفة في المكان والزمان (انظر McNaughton، ١٩٨٥).

تميل العواشب إلى الرعي على الأجزاء العليا من أي نباتات تستطيع الوصول إليها، لأن الجزء الأعلى من النبات يحتوي على الأجزاء الأكثر طراوة واحتواءً على العصارة، وهو أقل حمايةً بأي مركبات معدنية أو كيميائية تنتجها النباتات لأجل الحماية. بالتالي يشجِّع الارتعاءُ على تطور وبقاء النباتات التي تميل إلى النمو باتجاه الجانبين بدلًا من باتجاه الأعلى. ولو كان الارتعاء مستمرًّا، فإن تلك النباتات تُنْتَخَب لأنها تفقد من أوراقها أقلّ. وهي لا تغطيها النباتات المنافسة التي تنمو إلى أعلى، لأن الحيوانات المرتعِية تزيل تلك النباتات المنافسة. وتميل النباتات المنخفضة إلى شغل مساحة أصغر من النباتات المرتفعة، لذلك يكون هناك مساحةٌ لنباتات أكثر في البيئات التي فيها ارتعاء حيواني. كثيرًا قد يَنْتُجُ عن هذا أنواع أكثر وكذلك أفراد أكثر لكل نوعِ نباتٍ.

[1] أو بترجمة الناطقين بالإنجليزية لهذا المصطلح: the great cut-off.

سيَّجَ McNaughton رقعًا من السافانا لحمايتها من الارتعاء. اتضح أن المناطق المُرْتَعَى عليها بها في الحقيقة نباتات متاحة لكل سنتيمتر مكعَّب أكثر من الرقع المُسَيَّجة. تنمو النباتات التي لا يُرْتَعَى عليها طويلةً ومرتفِعةً. بالتالي ففي المناطق التي يُرْتَعَى عليها تكون موارد الطعام محشودةً بكثافةٍ. فيستطيع الحيوان المُرْتَعِي فيها أن يحصل على طعامٍ أكثرَ في كل قضمةٍ أكثر مما يحصل عليه في المناطق الغير مُرْتَعَى عليها، ويتغذَّى على نحو أكثر فعاليةً.

كمثال، تحتاج البقرة مستوىً معيَّنًا من التغذية في كل قضمة أو ملءِ فمٍ لكي تبقى على قيد الحياة، باعتبار الطاقة المتطلَّبة للحركة وقضم ومضغ وهضم ذلك الملءِ الواحد للفم [كمية الطعام التي في الفم بكل مرة]. لو عاشت البقرة في سهول سِرِنْجيتي Serengeti الشرقي أفريقية لما استطاعت البقاءَ حيةً لو كان عليها القطع من أرض مليئة بأعشاب [نجيل] قد نمت حتى طول أكثر من ٤٠ سم (١٦ بوصة)، لكن نفس تلك البيئة إذا كانت قد ارتُعِيَ عليها من قبلُ حتى صارت أعشابها بطول ١٠ سم (٤ بوصات) ستوفِّر إمدادًا غذائيًّا ثريًّا جدًّا.

تستجيب النباتاتُ المُرْتَعى عليها بطرق أكثر تعقيدًا من مجرد تغيير عادة نموها. فبعد بعض الزمن، تتطور تطورًا مشترَكًا مع الحيوانات المُرْتَعِية لتُنْتِجَ أنماطًا وتراكيب تكاثرية مختلفة. كمثال، ستُنْتَخَب النباتاتُ التي تستطيع إعادة النمو من القاعدة بدلًا من الطرف المستدق، وكذلك النباتات التي تستطيع التكاثر عن طريق السوق الجارية [سوق رفيعة تتجذر على طول الأرض التي تمتد فوقها مولِّدةً بذلك نباتاتٍ جديدة].

كل هذا له نتائج هامة. فهو يعني أن الأنظمة الإيكولُجِيّة الارتعائية متوازنة تطوريًّا بحيث تتحكم العواشبُ في نوع وكثافة مواردها الغذائية، لكن في نفس الوقت تُمْلِي أو تفرض استجابةُ النباتات أنماطًا سلوكيةً مُعيَّنةً وربما بنيوات اجتماعية على العواشب. سوف ينزع النظام الإيكولُجِي إلى توزان حتى يصير ضغط الارتعاء في أدنى حد للإبقاء على النباتات النامية بمستوى وطيء في أفضلية على منافساتها المحتمَلة من النباتات الأخرى.

لا تستطيع الحيوانات المرتعِية على الأرجح القيام بذلك لو كان كلٌّ منها منفردًا منعزِلًا. فالمرتعين المنعزلين المنفردين سيواجهون مشكلتين: سيحتاج كلٌّ منهم صرفَ طاقةٍ للدفاع عن منطقته، وفي المناطق المكشوفة يكون كل منهم عُرْضَةً للافتراس من جانب اللواحم الراكضين. إن العَيْشَ في قُطْعانٍ حلٌّ فعَّال لهاتين المشكلتين، لأنه يزيل الحاجةَ إلى صرف طاقة على الدفاع عن المنطقة، ويُزيد فرصَ التحذير المبكر من اقترابِ مفترِسٍ، ويسمح بوجود دفاع المجموعة [المشترَك]، ويوفِّر ضمانةً أفضل للارتعاء الثقيل الكثيف والمستمر والذي يحافظ على نظامٍ إيكولُجِيّ ارتعائيٍّ صحيٍّ.

علاوةً على ذلك، فمع تقلُّباتٍ موسمية ومحلية في إمداد الغذاء، يَسهُل تصوُّرُ تطور مجموعة من الأنواع المرتعِية المختلفة، كل نوع منها متخصص في جزء مختلف من الغذاء المتاح. كمثال، في سهول سِرِنْجيتي Serengeti تأكل ثلاثة أنواع مرتعِية مختلفة الحشائش والأعشاب. فتأكل الحمير الوحشية الأجزاء العليا من أوراق الحشائش والأعشاب، يتلوهم ظبي النو gnu or wildebeest فيأكل الأجزاءَ الوسطى، ثم غزال تُمْسِن Thomson's gazelle[1] فيأكل الأجزاء السفلى. إن الأسنان والأجهزة الهضمية الخاصة بكل حيوان متخصِّصة في نوعية نظامه الغذائي المخصوص. بالتالي، فهو تعاقب لحيوانات مرتعِية على السهول في أوقات مختلفة، كل نوع منها يعدِّل النباتاتِ بطريقة تسمح للتالي له بالارتعاء عليها على نحو أكثر فاعليةً. ويُشجِّعُ على وجود تنوع كبير للمرتعِيات، ففي العصر الحالي توجد عشر قبائل أو عمارات من الظباء [البقر الوحشي][2] الراكض المجترّ على سافانات أفريقيا.

لأن هذه المبادئ عامة للغاية، فإنها على الأرجح عمِلَتْ على الأقل منذ انتشرت الأراضي المعشوشبة على نحو واسع في عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط]. علاوة على ذلك، فقد كان هناك أنظمة إيكولُجِيّة [اعتياشيَّة] قائمة على النباتات الوطيئة حتى قبل تطور أول حشائش عند نهاية عصر الأُلِجوسين. كمثال، يبدو أن أول الأحصنة ارتَعَتْ على الأراضي المكشوفة في عصر الباليوسين. لو كانت الديناصورات حارة الدماء [ذاتيّة تنظيم درجة حرارة الجسد]، فقد واجهت على الأرجح مشاكلَ مشابهةً متعلِّقةً بمتطلَّبات الغذاء لكل ملأة فم. وحتى لو كانت الديناصورات باردة الدماء، بمتطلَّباتِ تمثيلٍ غذائيٍّ أقل، فإنها كانت ستواجه أيضًا مشاكلَ مشابِهةً.

---

[1] غزال طومسون أو غزال تومسون (الاسم العلمي: Eudorcas thomsonii) اسمه مأخوذ عن اسم مستكشفه الاسكتلندي جوزيف تومسون. تعداد هذا النوع من الغزلان يتجاوز ٥٠٠ ألف ويكثر في شرق أفريقيا. ارتفاعه ٥٥ إلى ٨٣ سنتيمتر (٢٢ إلى ٣٢ بوصة) وطوله ٨٠ إلى ١٢٠ سنتيمتر (٣١ إلى ٤٧ بوصة). يزن ١٥ إلى ٢٥ كيلوغرام (٣٣ إلى ٥٥ رطل) في الإناث، ٢٠ إلى ٣٥ كيلوغرام (٤٤ إلى ٧٧ رطل) في الذكور. جسمه بني اللون وبطنه بيضاء مع زوج من الخطوط السوداء على جانبيه. قرونه طويله ومدببة مع انحناء طفيف.

2 تنتمي الظباء إلى فصيلة البقريات (الاسم العلمي: bovids or Bovidae) فصيلة من شفعيات الأصابع تضم ١٤٠ نوع من الثدييات ذوات الحوافر المشقوقة . هذه الفصيلة منتشرة في سطح الأرض بشكل واسع، مواطنها الأصلية في جميع القارات ما عدا أمريكا الشمالية وأستراليا، وأنتاركتيكا أو القطب الجنوبي. و من أنواع البقريات: البقرة المدجنة، والبيسون bison، وجاموس الماء، والظبي، والغزال، والخروف، والماعز، والمسكوس muskox.

تنطبق مبادئُ مشابِهةٌ على المُرْتعِيات على الأوراق والغُصينات أيضًا على الأرجح. لكن على نحو واضح، ستكون المبادئ مختلفةً، لأن دفاع الكثير من أنواع النباتات ضد الارتعاء على أوراقها وغصيناتها هو بالنمو إلى طولٍ عالٍ سريعًا. وفي النهاية، فإن العواشب _سواء أكانت مرتعيات على الحشائش أم على الأوراق والغصينات_ موردٌ غذائيٌ للمفترِسين والمتقمّمين [آكلي الجِيَف]. إن حيوانات الساڤانات الأفريقية في منظومة إيكولُجِيَّة دقيقة ومتشابِكة.
يُرجَّحُ أنَّ عملَ McNaughton وزملائه _والذي حدَّدَ بوضوحٍ مبادئَ كان قد خمَّنها الكثير من الباحثين في الموضوع من قبلُ سابقًا_ هو طفرة تقدمية [إنجاز علمي] ليس فقط في فهم الأنظمة الإيكولُجِيَّة الخاصة بالساڤانات الحديثة المعاصِرة، بل وفي فهم العتيقة الماضية منها أيضًا.

الساڤانات في سجل المتحجرات

حَدَثَ تغيُّرٌ مناخيٌّ كبيرٌ في عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط] أطلقَتهُ على نحوٍ واضحٍ إعادةُ تجمُّدِ القطبِ الجنوبيّ ونموّ قبعته الجليدية الهائلة [كسائه الجليدي، مَجْلَدَتِه]. فشجَّعَ المناخُ الأبردُ على انتشار الغابات المكشوفة [المتناثرة في كثافتها] في مناطق خطوط العرض شبه الاستوائية، على حساب الغابات الأكثر كثافةً. كمثالٍ، هذا حَدَثَ في كاليفورنيا [في أمرِكا] منذ حوالي ١٢ مليون عام ماضٍ، عندما تغيَّرَ المناخُ من مواسم صيف رطبة إلى مواسم صيف جافة. لقد كانت هناك غابات مكشوفة [متناثرة الكثافة] على كوكب الأرض منذ العصر البرمي، لكن كانت النباتات التي نمت في الغابات المكشوفة أو الخلاء هي السرخسيَّات والشُجَيْرات. كانت السمة الجديدة للغابات أو الأراضي المكشوفة في عصر المَيُوسين هي انتشار الحشائش بإنتاجِيَّتِها العالية.

تُنْتِجُ الأنظمة الإيكولُجِيَّة الخاصة بالساڤانات قَدْرًا كبيرًا من النباتات الصالحة للأكل، حتى لو كان للحشائش ألياف أو نسيج كثيرة وبروتين منخفض قليل. لقد تكيَّفَتْ الحشائشُ لتقاومَ الارتعاءَ الشديدَ؛ فهي تتعافى سريعًا بعد حصدها لأنها تنمو من خلال نصل الورقة بدلًا من أن تنمو من خلال طرفها المستدق النامي على نحو رئيسي. وقد تطوَّر فيها أجزاء سِلِكا [ثاني أكسيد السِلِكُنْ] ضئيلة _أو phytoliths بنيوات معدنية مجهرية أفرزها نبات حي وغالبًا مكوَّنة من أُكسالات الكالسيوم أو سِلِكا أوبالية_ تجعلها أقسى على المضغ وتُسَبِّبُ بليً للأسنان مؤثِّرًا ذا أهمية في الحيوانات المُرْتَعِية.

ربما شجَّعَ الارتعاءُ الكثيفُ على انتشار الحشائش [العُشب] في البدء، لكن كامل النظام الإيكولُجي الخاص بالساڤانا استقرَّ وتوازَنَ سريعًا، بلا شك من خلال آليات كالتي اقترحها McNaughton وفريقُه البحثيُّ. لقد كانت هناك استجابة تطورية سريعة ومدهشة بديعة، وخاصةً من جانب الثديّيات اللذين تطوروا إلى الكثير من الأشكال المرْتَعِيَة المختلفة. هذا الحَدَثُ واستمرارهُ إلى اليوم في الأنظمة الإيكولُجِيَّة للسهول يدعوه في العصر الحالي David Webb بـ "قصة الساڤانا"، والذي قام بمعظم جهد توثيقها (انظر كمثال، David Webb، ١٩٧٧). لقد كان التغير في الحياة النباتية شاملًا على مستوى العالَم، ورغم أنَّ الأدلة من أمرِكا الشمالة كاملة تقريبًا، فإن نزعات مشابهة يمكن تعقبها في كل القارات ذوات مناطق الأراضي شبه الاستوائية. ففي كل قارة، نشأت أنواع الحياة الحيوانية الخاصة بالساڤانا بالتطور من الحيوانات التي كانت قد عاشت هناك قبل التغير المناخي الكبير.

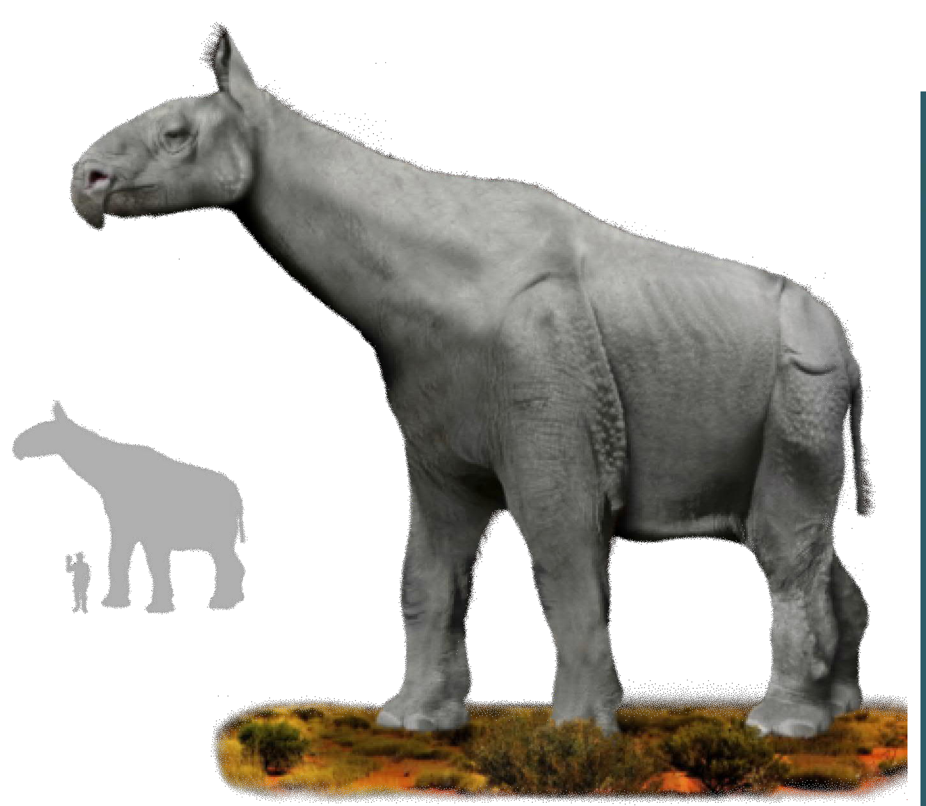
كانت الحيوانات التي كانت ناجحة على الخصوص في الأنظمة الإيكولُجِيّة للساڤانا هي المُرْتَعِيات على الحشائش والمُرْتَعِيات على الغصينات والأوراق في السهول المكشوفة ذوات رقع الغابات المتناثرة فقط. لقد تطورت الأيائل والظباء إلى تنوُّعٍ كبيرٍ. تطورت أسنانهم لتصبح طويلة جدًّا بالنسبة لأطوالهم، أيْ: صاروا مترافعي الأسنان [ذوي أسنان طويلة التيجان قصيرة الجذور hypsodonts]، مع أسطح مينا مُزْدادة بدرجة كبيرة. كمثال، تطور في الأفيال والقوارض والخيول والجمال والخراتيت كلهم فكوكٌ وأسنانٌ ذوات تكيُّفاتٍ لطحنٍ أفضلَ. كما يُفترَض فإن الأسنان المترافعة تَبْلَى بعد وقت أطول وتسمح للمُرْتَعِي بمضغ الألياف القاسية ومقاومة حك المواد النباتية المتعدِّنة phytoliths.

أظهرت الحيوانات الأكبر حجمًا في الساڤانات تغيُّراتٍ في الحجم وطريقة الحركة تتلاءم مع الحياة في السهول المكشوفة حيث لا مكانَ للاختباء. لقد أصبحوا أطول وذوي أرجل أطول ومتكِّفين على نحوٍ جيدٍ للركض السريع. كانت بعض هذه الحيوانات القاطنة لسهول عصر المَيُوسين [الحديث الوسيط] عملاقة، وهي تتضمن أكبر ثديي بري مما عاش على الإطلاق، وهو الخرتيتيُّ الأورآسيويُّ العديم القرون Paracertherium [يعني اسمه الوحش االقريب لذوي القرون أو الخرتيتيات] ويُعرَف كذلك بالـ Baluchitherium [بهيم أو وحش بلوخستان][1] [من فصيلة الخرتيتيات أو الأجداد المشتركة أو القريبة

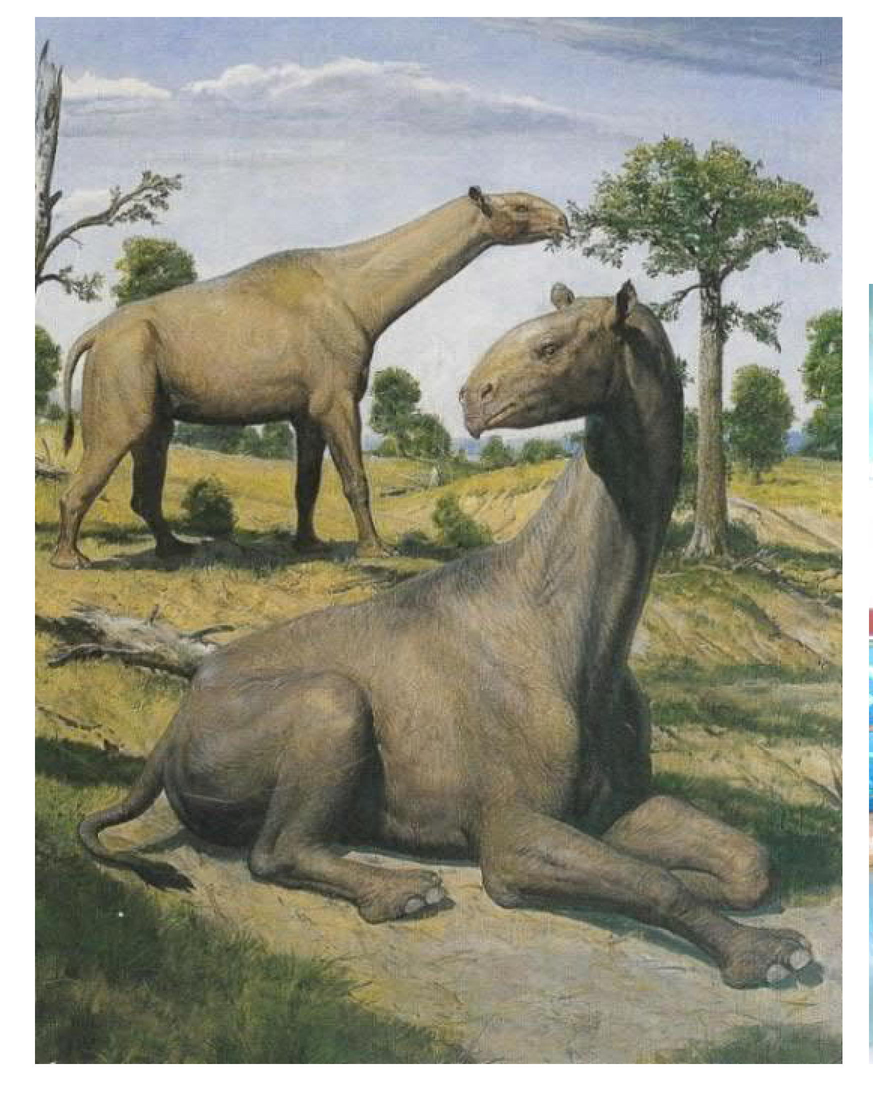
---

[1] الباراسيراثيريم أو الإندريكوثيريم أو البارا سرتير أو البهيم القرنوي (الاسم العلمي: paraceratherium) وتعني بهيم قرنوي أو شبه قرني ويعرف كذلك بوحش بالوشستان أو وحش بلوخستان (البالشوثيريوم) (الاسم العلمي: Baluchitherium) ، أكبر حيوان ثديي مشى على اليابسة ،بلغ طوله ٤, ٧ متر ووزنه ١٤ طنا، عاش في عصر الأوليجوسين منذ ٢٣ مليون سنة مضت، عاش الباراسيراثيريم في مناطق عديدة هي الصين ورومانيا وبلغاريا وتركيا والهند وجورجيا وباكستان وكازخستان ومنغوليا. اكتشف البارسيرثيريوم لأول مرة عام ١٩٠٨ في باكستان في منطقة بلوخستان من قبل السير كلايف فوستر كوبر وهو من سماه بهذا الاسم ' ثم وفي بدايات القرن العشرين اكتشفت عظمة لهذا النوع في منغوليا من قبل روي تشابمان أندرو .

لأسلاف الخراتيت والأحصنة Hyracodontidae وهو قريب بعيد للخرتيت] وصل وزنه إلى ما يتروواح بين ١٢ إلى ٢٠ طنًّا [على اختلاف التقديرات لبقايات متحجراته الغير كاملة] وطوله إلى ٨ أمتار وطوله حتى كتفيه ٨, ٤ متر وبذلك كان بحجم الكثير من أنواع الديناصورات العاشبة ذوات الأرجل الشبيهة بأرجل السحلية Sauropods، وكان يشغل على الأغلب دورًا إيكولُجيًّا مشابهًا لدورها ولدور الزراف الحديث المعاصر، يتلوه (الصورة ١٧– ٨)، وكذلك أطول جمل معروف.





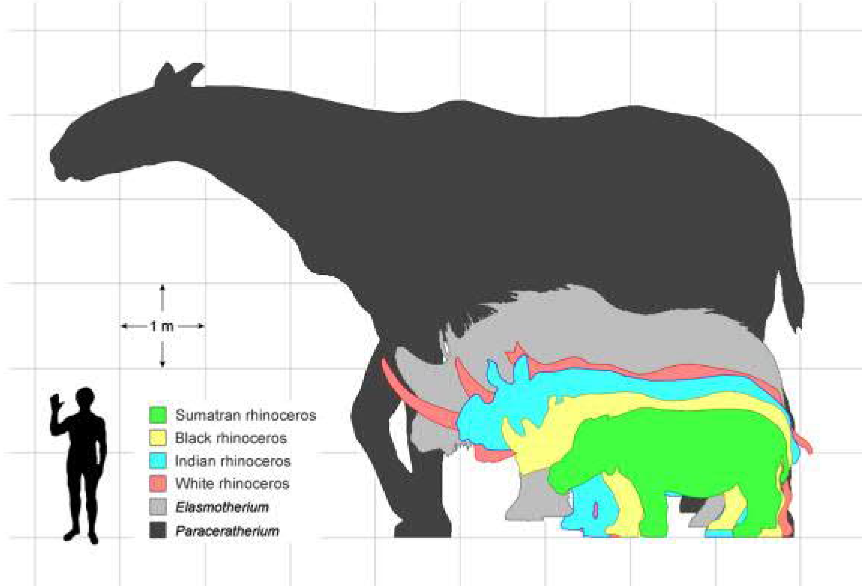


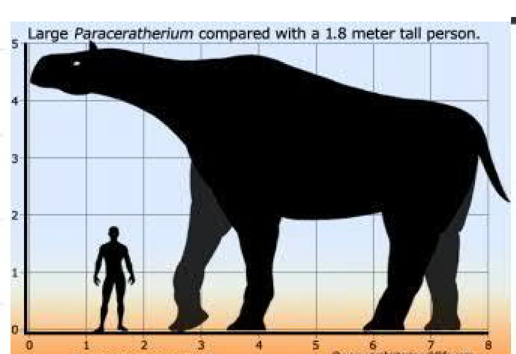


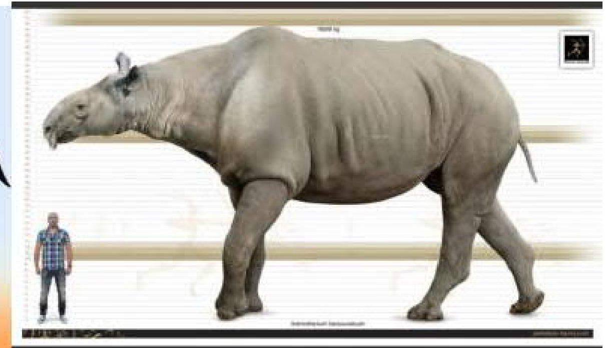
حتى الأن أكتشفت ٥ أنواع للباراسرتير Baluchitherium Forster Cooper, 1913 Indricotherium Borissiak, 1916 Thaumastotherium Forster Cooper, 1913 Aralotherium Borissiak, 1939 Dzungariotherium Xu and Wang, 1973


Mauricio Antón




1 m
Sumatran rhinoceros
Black rhinoceros
Indian rhinoceros
White rhinoceros
Elasmotherium
Paraceratherium


Large *Paraceratherium* compared with a 1.8 meter tall person.
0
1
2
3
4
5
0
1
2
3
4
5
6
7
8
DIMENSIONS IN METERS
© www.prehistoric-wildlife.com

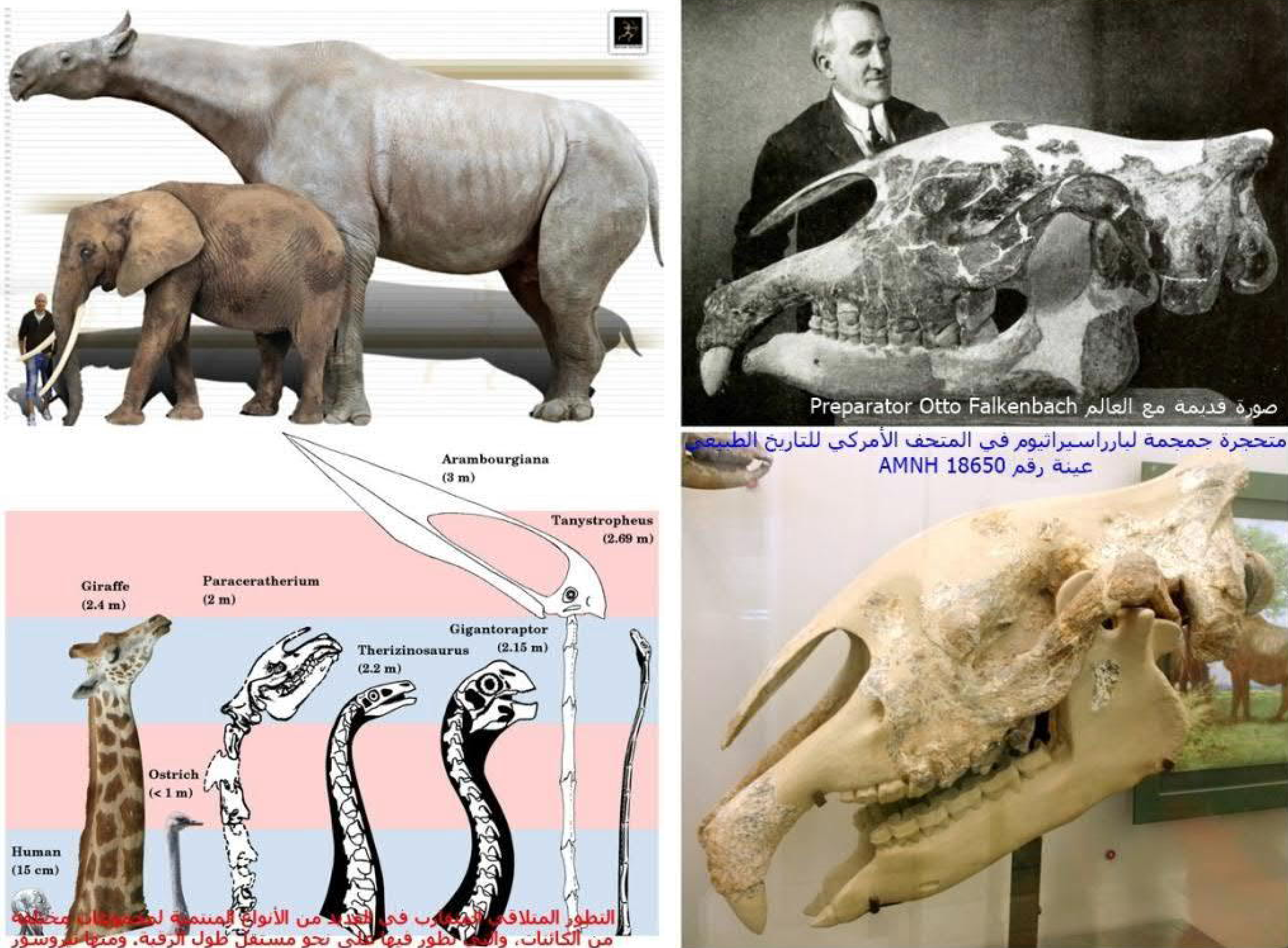



Oligocène (ou Miocène) ORDOS (Chine)
M. M. Licent et Teilhard de Chardin
INDRICOTHERIUM TRANSOURALICUM
M. Pavlova
Denture supérieure - Oligocène de Russie
Paraceratherium_transouralicum الصروس العلوية لـ
فى متحف التاريخ الطبيعى فى باريس - فرانس
Musee d'Histoire Naturelle, Paris


Mauricio Antón







الصور ١٧– ٨ الحيوان الضخم Paracertherium [شبيه أو قريب الخرتيتيات] ويدعى أيضًا باسم Baluchitherium [وحش بلوخستان]، وهو من فصيلة Hyracodontidae التي تحدرت من بعض فروعها الخراتيت والأحصنة والتابيرات.

في عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط] في أمِركا الشمالية، كان المرتعِين على الحشائش في البدء مجترّين مثل الجَمَلِيَّات والأحصنة. وصل الأيل الأوروآسيي إلى هناك وتشعَّبَ خلال عصر المَيُوسين. كانت الحياة الحيوانية لسافَانا عصر المَيُوسين المتأخر في أمِركا الشماليّة ثريَّة جدًّا، بالغةً ذورتَها المتمثِّلة في خمسين جنسًا من ذوات الحوافر والمفترِسين الكبار الأحجام، والذين هيمن عليهم الخيول والجَمَلِيَّات والوعول متشعِّبة القرنين [pronghorns [وعول شمالي أمِركية مجترَّة].

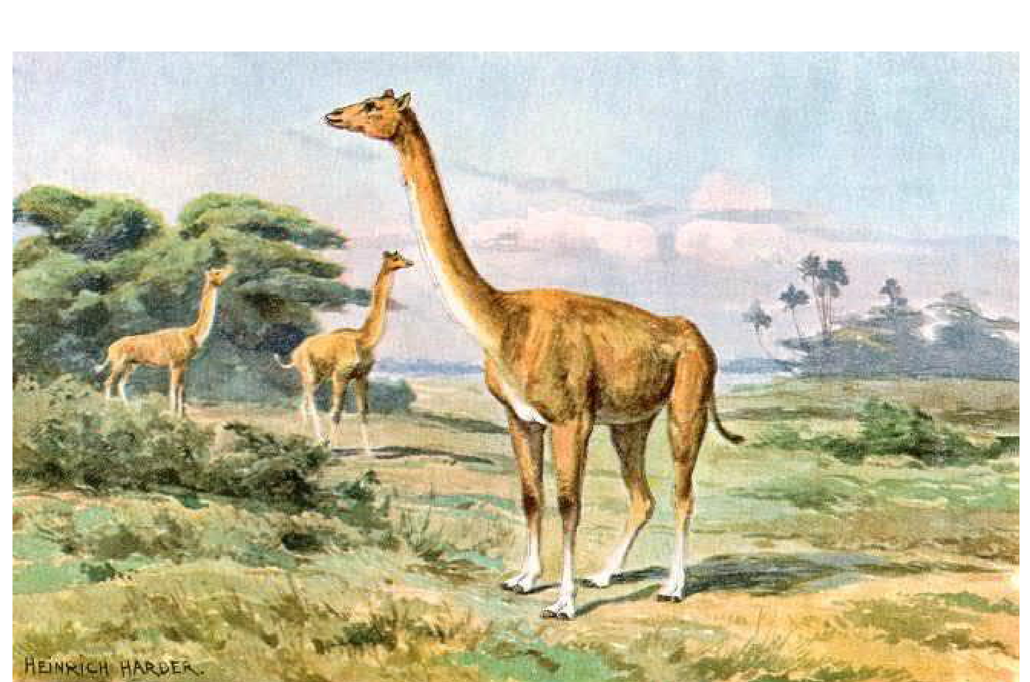
بدءًا منذ تسعة ملايين سنة ماضية، عانى النظام الإيكوُجِي الخاص بالسافَانا الشماليّ أمِركية من سلسلة من الصدمات، تضمَّنَتْ انقراضًا كبيرًا بدأ منذ حوالي ستة ملايين سنة ماضية. تطورت أجناس جديدة ووفد مهاجِرون جُدُد، لكنهم لم يقتربوا حتى من تعويض الخسائر.

أنماط الانقراض مثيرة للاهتمام. فقد اندثرت كل مزدوجات الأصابع الغير مُجْتَرَّة ما عدا نوعًا واحدًا من البيكاري آنذاك _وهو Platygonus [البيكاري المسطَّح الرأس، عاش من عصر المَيُوسين حتى عصر البِلَيْستوسين وانقرض منذ ١١ ألف عام]_ والذي تطوَّرت فيه أسنانٌ قاطعة وتحوَّلَ إلى نظامٍ

غذائيٍّ أكثرَ خشونةً واحتواءً على ألياف [أنسجة نباتية]. ازدهرت الخيول المرتعية على الحشائش، أما الخيول المرتعية على الأوراق والغُصَيْنات فاندثَرَتْ. ونجت الجمليَّات ذوات الأسنان المرتفعة hypsodont فقط، بينما انقرضت الأشكال [الأنواع] الجملية ذوات الأسنان القصيرة. تضمَّن الضحايا جملًا ضخمًا يُدعى Aepycamelus [الجمل الطويل] كان طوله ٣,٥ متر ارتفاعًا (١٢ قدمًا) (الصورة ١٧– ٩)، والذين كان على الأرجح مرتعيًا على الأوراق شبيهًا في طريقة اعتياشه بالزراف. وبين المُجْتَرّين، كان الناجون الرئيسيون هم الوعول الأمِركية متشعبة القرون، والتي هي ذوات أسنان مترافعة hypsodont.

النمط الإيكولُجِيّ المشترَك هو التكيف لعلفٍ أخشن أغلظ وسهول أكثر انكشافًا، وربما يدل هذا على تغير من ساڤانا إلى أراضٍ معشوشبة مسطحة [عديمة الغابات تمامًا]. ربما تكون تأثيرات ظلِّ المطر[1] قد سبَّبَها ارتفاع أو تقبب كبير في القشرة الأرضية[2] في غربيِّ أمِركا الشمالية؛ لكن كمُجْمَلٍ، صارت المناخات العالَمية أبردَ في دهر الحياة الحديثة المتأخر.





الصور ١٧– ٩ الجمل العملاق Aepycamelus [الجمل الطويل] من عصر المَيُوسين [الحديث الوسيط].



[1] rain shadow مساحة من الأرض تقع في الجانب المدابر للريح من الجبل أو سلسلة الجبال. ويكون سقوط المطر فيها أقل منه في الجانب المواجه للريح وأكثر في الجانب المدابر. قد يوجد ظل المطر على أي جانب من جوانب الجبل تبعًا لاتجاه الرياح السائدة.

[2] Uplift رفع، ارتفاع، مرتفَع، مرفَع أرضي، تقبُّب، نتوء القشرة الأرضية: ارتفاع جزء كبير من الأرض بالمقارنة مع الجزء المجاور له وينتج ذلك بسبب تعرض ذلك الجزء لحركات أرضية دافعة إلى أعلى مكوِّنة المرتفَعَ.

التطور من خلال التحسن

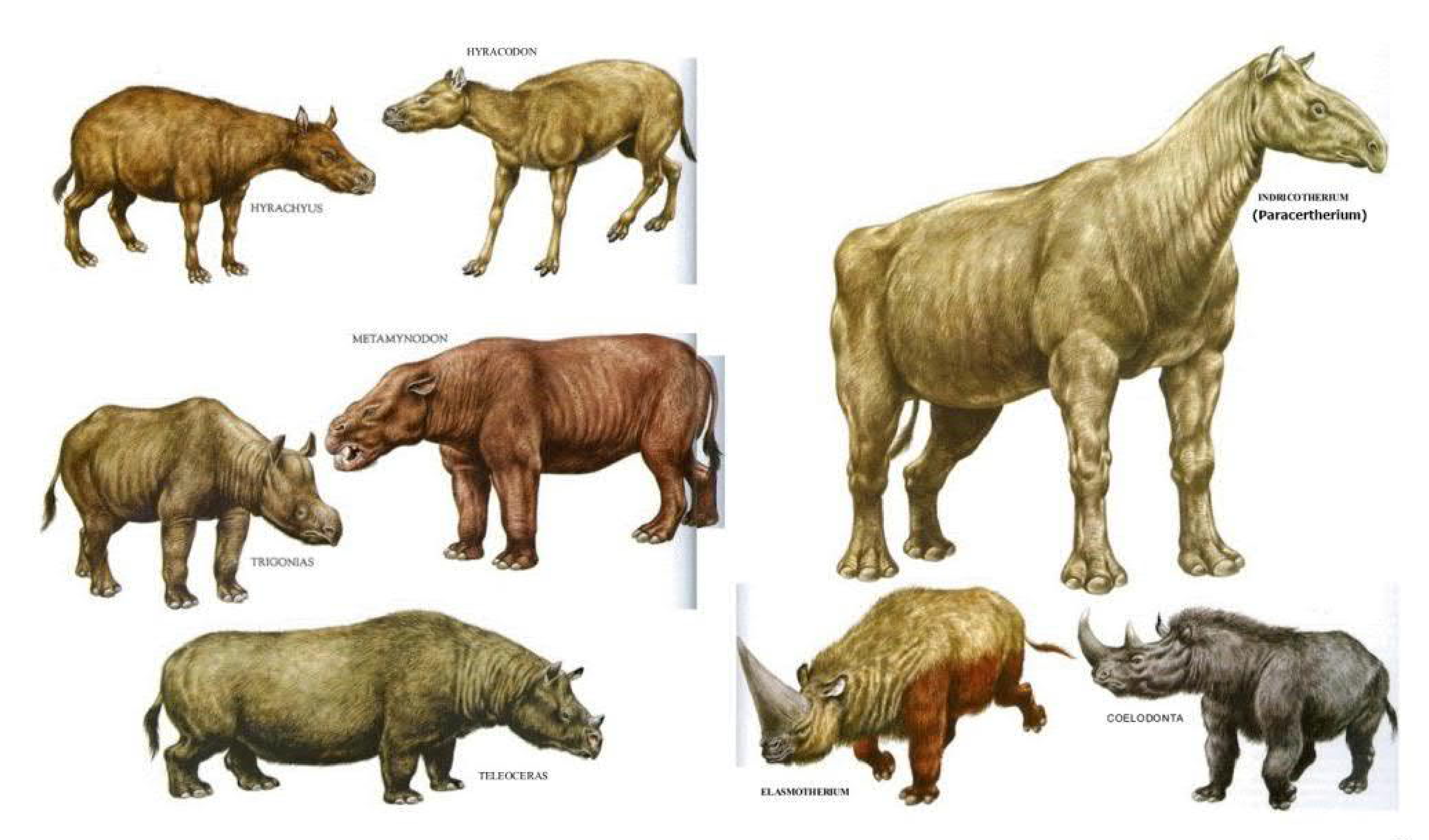
إن سجل متحجرات الثدييات جيد للغاية لدرجة أننا نستطيع تعقب المجموعات ذوات القرابة التطورية الخاصة بالثدييات عبْرَ فترات زمنية طويلة، وكثيرًا ما يكون ذلك عبر مناطق شاسعة وعبر حواجز جغرافية ومناخية. نستطيع في كثير من الحالات أن نرى تغيرًا تطوريًا كبيرًا في المجموعات، ولأننا نفهم بيولُجِيَّة الثدييات الحية المعاصرة على نحو جيد حقًّا، فإننا نستطيع تفسيرَ التغيراتِ بتأكدٍ. كثيرًا ما يمكن ربط التغيرات بوظائف بيولُجِيّة [حيويّة] مُعيَّنة ويمكن اعتبارها تُمكِّن الحيواناتِ من القيام بتلك الوظائف بطريقةٍ أكثرَ فاعليةً وكفاءةً.

لا يحب كثيرٌ من الناس مفهومَ التحسن، أو التقدم أو الارتقاء التطوري والذي هو تعبير آخر عن نفس الشيء. رغم ذلك، فهناك مقاييس نستطيع استعمالها تُثْبِتُ بوضوحٍ أن الكثير من الفروع التطورية الخاصة بالكائنات المتعضِّية قد تحسَّنَتْ وصارت أفضلَ بالفعل عبر الزمن أثناء قيامها بما تقوم به [من أنشطة في حيواتها]. أفضل طريقة لإثبات ذلك هي استعمال الميكانيكيَّات البسيطة الواضحة. (الميكانيكيَّات البيولُجِيَّة، لو أن هذا المصطلح ينطبق على الحيوانات أو النباتات). بالتالي، كمثال، تحركت الديناصورات بطريقة أفضل ميكانيكيًّا من أسلافها، وكذلك فعلت الثدييَّات. لقد تطور في الأحصنة على وجه الخصوص مزاوجة ميكانيكية رائعة بين العظام والعضلات والأوتار والتي تمنح الأحصنةَ الحية المعاصرة _بما فيها أحصنة السباق_ أداءَ جريٍ أفضلَ من أسلافها. الأمثلة أكثر بكثير من أن نعدِّدَها في قائمةٍ هنا، ويستطيع المرء القيام بنفس الحُجَجِ بخصوص الفسيولُجِيَّة [وظائف الأعضاء] والكيمياء الحيوية والتكاثر وهلم جرًّا. إني أريد بوضوح إثبات أنه من الصحيح الكتابةُ عن "التقدم" كمنطبِقٍ على التطور. إن لدي هنا مساحة للتعامل مع مثال واحد فقط؛ وهو الأحصنة؛ لكني سأُرْسِل أمثلةً أخرى على موقع الإنترنت الخاص بالكتاب.

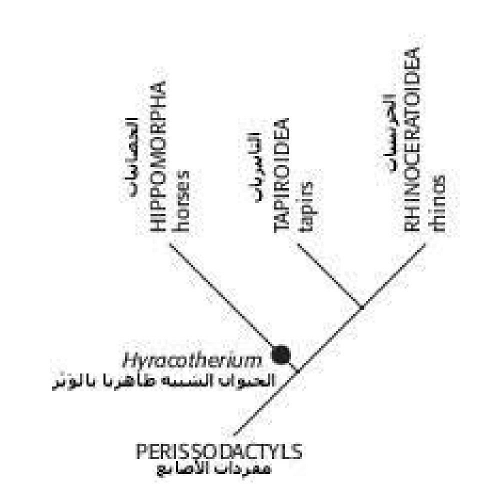
الأحصنة

الأحصنة هي فصيلة واحدة فقط من مجموعة من ذوات الحوافر ungulates تُدْعَى مُفرَدات الأصابع perissodactyls (التي يكون لديها في العادة عدد فردي من الأصابع في كل قدم). إن التابيرات والخراتيت هم أيضًا مفردات أصابع حية (مخطط الشجرة التطورية ١٧- ١٠)، والـ titanotheres [الثدييات العملاقة] هي مفردات اصابع منقرضة (الشكل ١٧- ٦). وبينما للخرتيتيَّات تاريخٌ تطوريٌّ مثير للاهتمام ومليء بالأحداث ومعقَّد، فإن التابيرات تطوروا ببطء كافٍ لأنْ يُصَنَّفُوا كمتحجرات حية. هذا مثير للاهتمام على نحو خاص لأن الخيول تطوروا على نحو جذري للغاية وسريع للغاية.





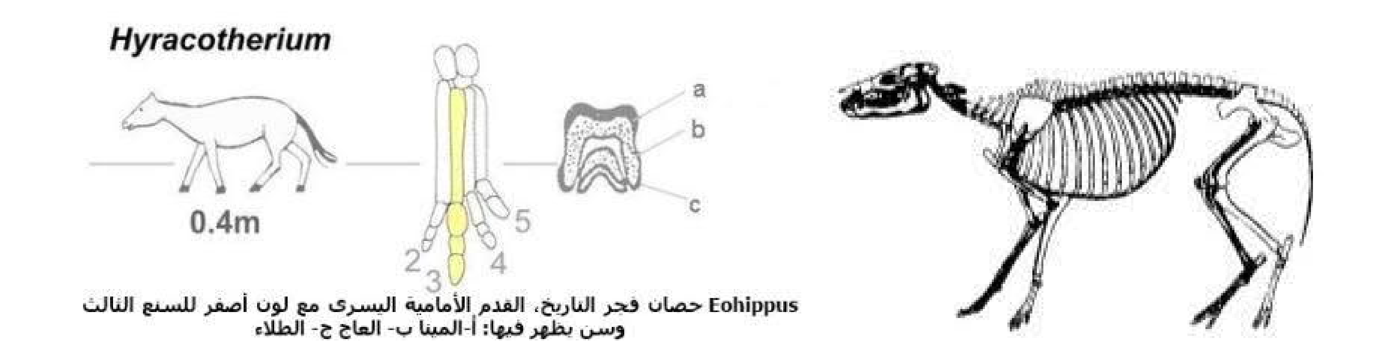
للخرتيتيّات تاريخٌ تطوريٌّ مثير للاهتمام ومليء بالأحداث ومعقّد



الشكل ١٧– ١٠ مخطط تطوري للمجموعات الرئيسية من مفردات الأصابع الحية المعاصرة.

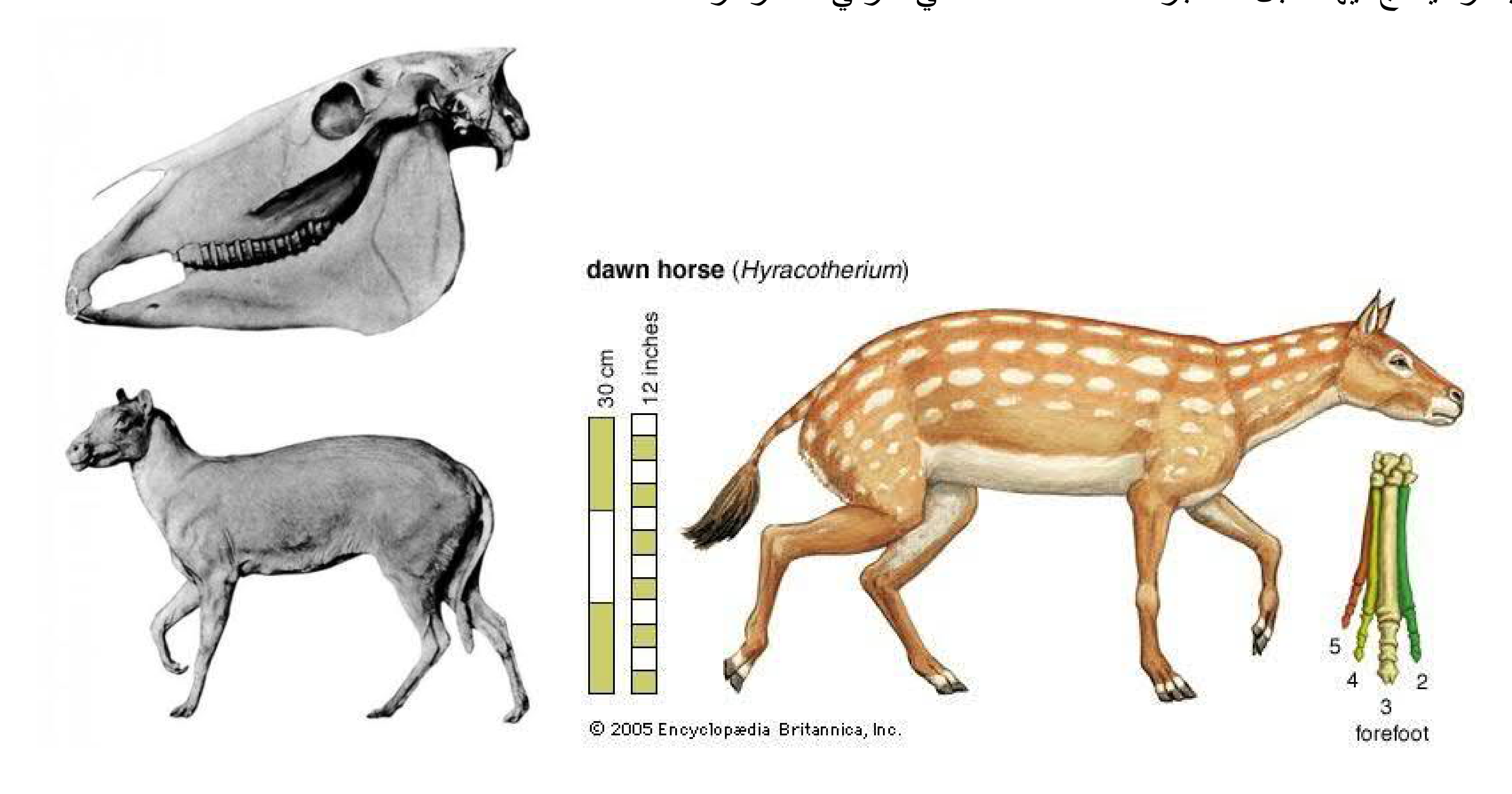
ازدادت مفردات الأصابع عددًا في عصر الباليوسين المتأخر، حالة محل بعض ذوات الحوافر المبكرة كمرتعيات على الأوراق والغصينات صغيرة الأحجام. لقد ظهر فيها بالفعل تكيفات جيدة للركض، ويمكن تفسير نجاحها بطريقتين: سواء أن القدرة الأفضل على الركض الخاصة بمفردات الأصابع المبكرة قد جعلتها أكثر مقاومةً للافتراس عن الثدييات الأقدم التي حلت محلها، و/ أو أن القدرة على الركض على نحو أفضل كانت مُتَطلَّبة عندما زالت غابات [أحراج، أدغال] عصر الباليوسين وحل محلها أراضي شجرية أكثر انكشافًا في عصر الإيوسين المبكر. كان لمفردات الأصابع الأوائل أيضًا أدمغة أكبر وأكثر تعقيدًا أيضًا من الرتب الأخرى، وقد بدأت تشعبًا إلى أنماط جسدية مختلفة متنوعة وكثيرًا ما كانت أنماطًا أكبر حجمًا.

كان Hyracotherium [الحيوان الشبيه ظاهريًا بالوَبْر أو الزلم] _وهو أقدم "حصان" معروف وأحد مفردات الأصابع الأوائل الأقدم [أو حسب تصنيفات أخرى من فصيلة فصيلة Hyracodontidae التي تحدرت من بعض فروعها الخراتيت والأحصنة والتابيرات]_ جنسًا مرتعيًا على الأوراق والغصينات صغير الحجم، فأصغر أنواعه كان بحجم القط، لكن نوعًا آخر وصل وزنه إلى حوالي ٣٥ كجم (٧٥ رطلًا) (الصورة ١٧– ١١). ظهر Hyracotherium لأول مرة في عصر الإيوسين المبكر في ما هو حاليًّا أمِركا الشمالية وأوربا. كان الذكور أكبر من الإناث، وذوي وجوه أعرض وأسنان نابيَّة أطول، ربما كان هذا ذا صلة بالتصارع بين الذكور. تتصارع الأحصنة في العصر الحالي بأسنانها وحوافرها، لكن في كائن بحجم القط أو بوزن ٣٥ كجم لا يكون للركلة تأثيرٌ كبير، بالتالي لا بد أن جنس Hyracotherium كان له طريقة تصارع مختلفة تمامًا. لقد اعتُقِدَ قديمًا أن Hyracotherium عاش في الغابات، لكن الأدلة من علم متحجرات النباتات تُثْبِتُ أن تلك الأحصنة الأوَلِيَّة عاشت في الأراضي الشجرية المكشوفة منذ بداية بزوغها وتطورها.



الصورة ١٧- ١١ كان Hyracotherium [الحيوان الشبيه ظاهريًّا بالوَبْر] أبكر حصان معروف، لكنه كان أيضًا قريبًا تطوريًّا لأسلاف الخرتيتيات والتابيرات. وحسب بعض التصنيفات هو قريب أو من الأسلاف المشتركة للثلاث مجموعات (انظر المخطط التطوري ١٧- ١٠).

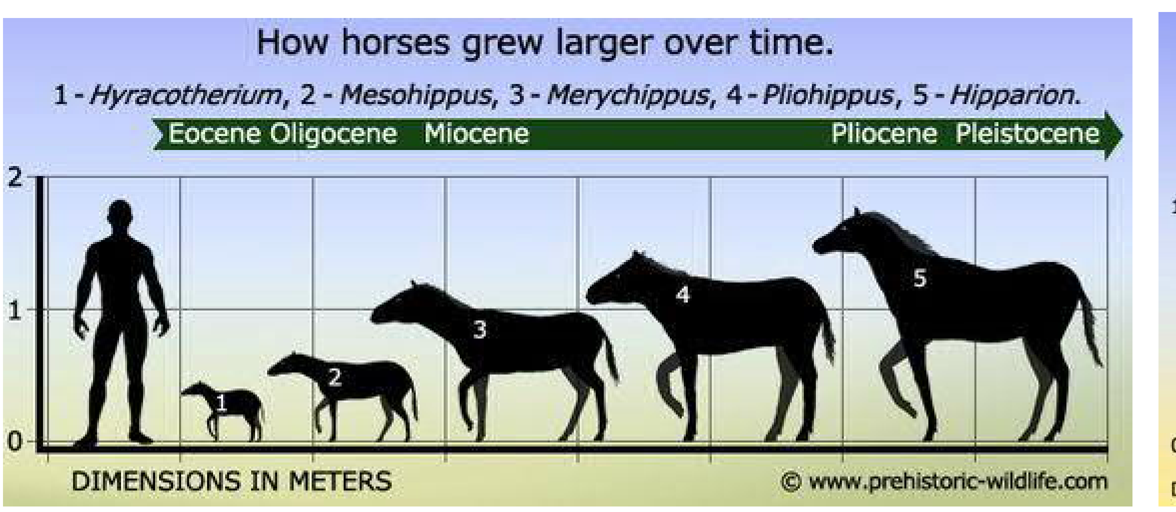
لعل تاريخ الأحصنة [التطوري] هو أفضل تاريخ معروف لأي متحجرات مجموعة فقارية. لقد كان أحد أبكر التعاقُبات التطورية في معرفتها وفهمها على نحو جيد، فعلى نحو مفارق متناقض، نُشِرَت أول نسخة جيدة عن ذلك في عام ١٨٥١م على يد خصم تشارلز داروِن السير/ رِتْشَرْد أُوِنْ Richard Owen، الذي سمَّى أقدم حصان معروف باسم Hyracotherium وتعقَّب خط تحدره التطوي حتى الحصانيات أو الخيليات الحية المعاصرة Equus or Equidae (الأحصنة والحمير والحمير الوحشية السهلية والحمير الوحشية من نوع جريفي والحمير الوحشية الجبلية mountain zebra والأخدر onager وفرأ التبت Kiang وحصان بريزولسكي البري Przewalski's horse[1] وأجناس أخرى حية ومنقرضة). بعد ثلاثين سنة لاحقًا، استعمل Thomas Huxley تُمِس أو توماس هكسلي صديق تشارلز داروِن نسخة مطوَّرة من قصة تطور الحصان في محاضراته للمساعدة على الترويج لنظرية داروِن الخاصة بالتطور عن طريق الانتخاب الطبيعي. وكذلك، في عام ١٨٧٦م بعدما زار تُمِسْ هكسلي الولايات المتحدة الأمِركِيّة احتاج لأن يعيد كتابةَ محاضرته مباشرةً ليدمج فيها سجل متحجرات الأحصنة الشمالي أمركي الأكثر ثراءً.

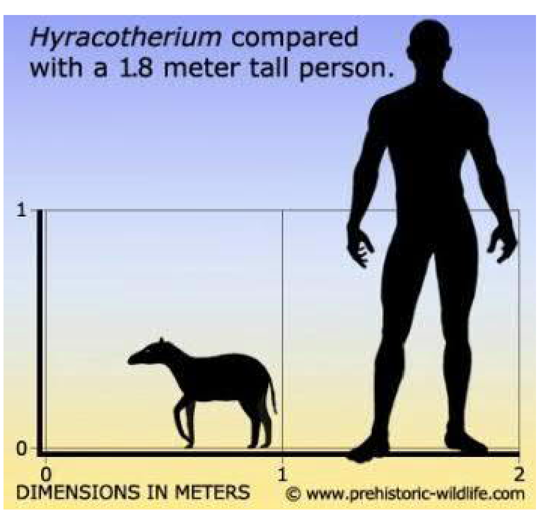


[1] الأخدر: نوع من الثدييات ينتمي إلى فصيلة الخيليات كان يستوطن صحاري بلاد الشام والعراق وشبه الجزيرة العربية وإيران وباكستان والهند والتبت، أما الآن فإن موطنه محصور بالدول الأربعة الأخيرة. يُعرف الأخدر بالعربيّة أيضا بالحمار البرّي الآسيويّ والفراء والعير. تعرض موطن الأخدر كغيره من الحيوانات الراعية الأخرى إلى التقليص بشكل كبير بسبب الصيد المكثّف وفقدان المسكن، وقد انقرضت فعليًا إحدى سلالات الأخدر الستة لهذه الأسباب وأصبحت اثنتين أخرتين معرضتان للانقراض. وللأخدر قريب وثيق الصلة به هو فراء التبت وهو نوع آخر من الحمر البريّة والذي كان يعتقد في السابق أنه سلالة له إلا أن الدراسات الجينيّة الجديدة أظهرت أنه نوع مستقلّ بذاته. كان موطن الأخدر يمتد من منغوليا حتى الجزيرة العربية، وشمالا حتى جنوبي روسيا وكازاخستان، بالإضافة لشمال غرب الهند والتبت. ومنذ حوالي ٤٠،٠٠٠ سنة خلال أواخر حقبة البليستوسين (العصر الحديث الأقرب)، كان موطن الحمار البري الآسيوي يصل للحدود الغربية لجرمانيا الحاليّة، أما اليوم فقد تقلّص موطن الأخدر بشكل كبير جدا عمّا كان عليه في السابق، بحيث تعتبر الجمهرة في جنوبي منغوليا أكبر الجمهرات عددا حيث تمثّل نسبة ٨٠% من جميع الحيوانات الباقية على قيد الحياة من هذا النوع، أما باقي الجمهرات فيبلغ عدد أفرادها جميعا أقل من مئة. وقد تمّ مؤخرا إعادة إدخال الأخدر إلى بعض المناطق التي انتشر فيها سابقا في منغوليا، إيران،فلسطين، والسعودية.تعتبر الحمر الأخدريّة أكبر قدا بقليل من الحمر المستأنسة حيث يبلغ وزنها حوالي ٢٩٠ كيلوغراما وطول رئسها وجسمها معا ٢,١ متر، كما أنها أشبه بالحصان منها، وللأخدر قوائم قصيرة نسبيا مقارنة بالأحصنة ولونها يختلف بحسب تغيّر الفصول فهي عادة خمريّة اللون في الصيف ومن ثم تتغير إلى بنيّة مصفرّة في الفصول الماطرة، وتمتلك هذه الحمر خطا أسود يحده لون أبيض من الجهتين على طول الظهر كما ويعتبر الأخدر غير قابل للترويض والاستئناس.

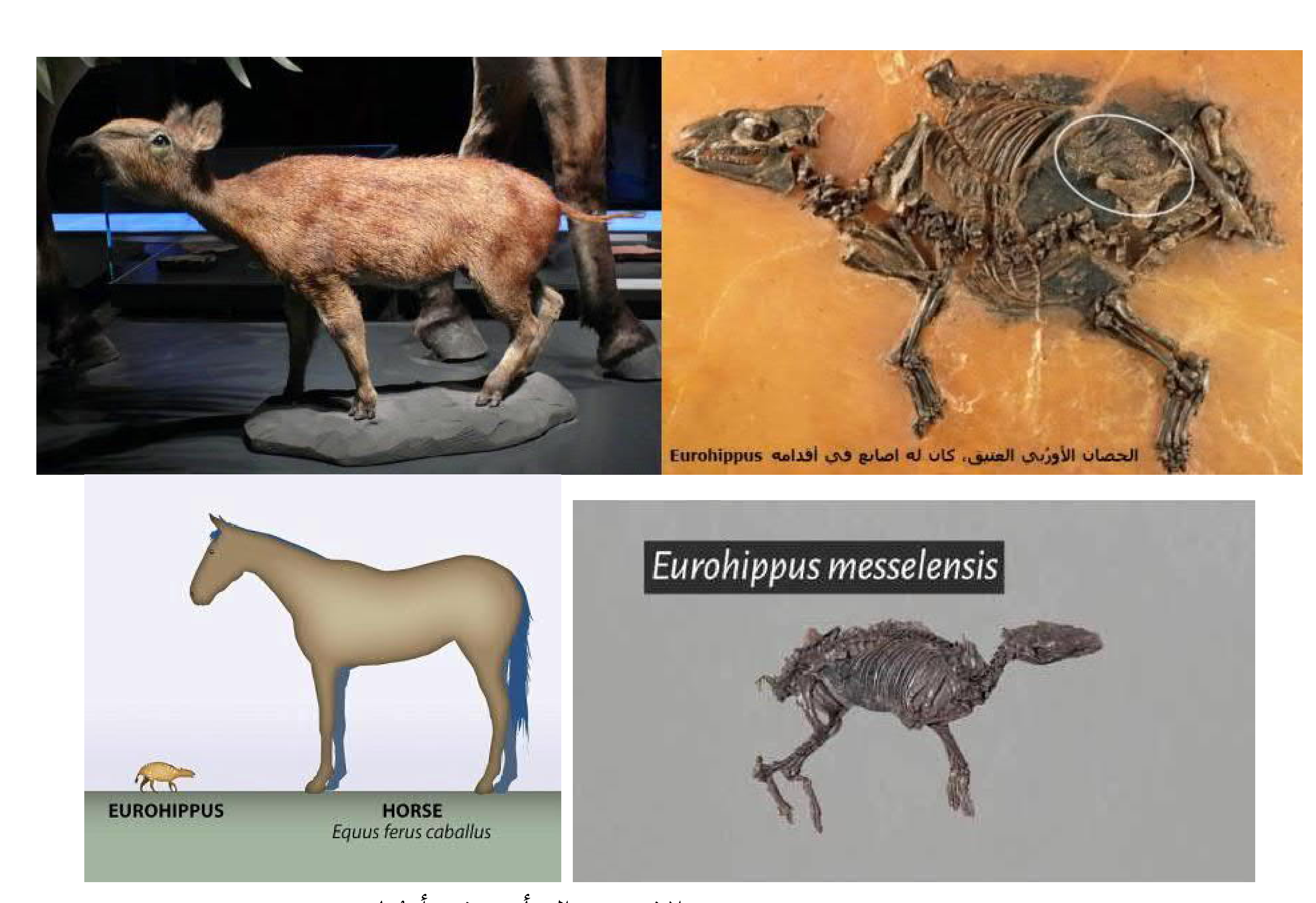
فرأُ التبت أو الحمار البرّي التِبَتي: هو إحدى أنواع الحُمر البرّية الآسيويَّة، وأكبر الحُمر البريَّة بلا مُنازع. تستوطن هذه الحُمر هضبة التِبت، وموائلها الطبيّعية المُفضَّلة هي الأراضي العشبيَّة والمروج الجبليَّة. يقتصر انتشارها الحاليّ على منطقة لدَّاخ في جامّو وكشمير، وسهول هضبة التِبت، وشمال النيبال على طول الحدود التِبتيَّة. من الأسماء المألوفة الأخرى لهذه الحيوانات: الكيانغ والخيانغ والگورخر أو الگورخار أو الغورخار. يُصنّفها الاتحاد العالمي للحفاظ على الطبيعة أنها غير مهددة على الإطلاق. المخاطر الرئيسيَّة التي تواجهها هذه الحمر تتمثَّل بازدياد أعدادها الملحوظ، الأمر الذي جعلها تدخل في نزاع مع مُربي المواشي والرعاة الذين يحاولون الحِفاظ على مراعي مواشيهم التي يعتمدون عليها صافية، فعلى سبيل المثال شوهدت الأحصنة المستأنسة الخاصَّة بالبدو الرحَّل وهي ترعى إلى جانب الحمر البريَّة في أنأى مناطق شينجيانغ بعد أن انتقل إليها هؤلاء الناس لتمضية الشتاء.

حصان برزوالسكي أو حصان برزفالسكي: (الاسم العلمي: Equus ferus przewalskii) من الخيول النادرة والمهددة بالانقراض. سهول آسيا الوسطى هي موطن هذه الخيول وبالأخص منغوليا. تتميز هذه الخيول برأسها الكبير ورقبتها القوية ويبلغ متوسط ارتفاعها ١,٢٥ متر. أخذت هذه الخيول تسميتها من اسم مستكشفها الروسي نيقولاي برزوالسكي.



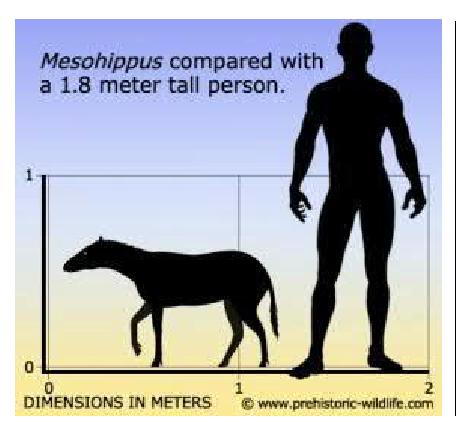


Hyracotherium

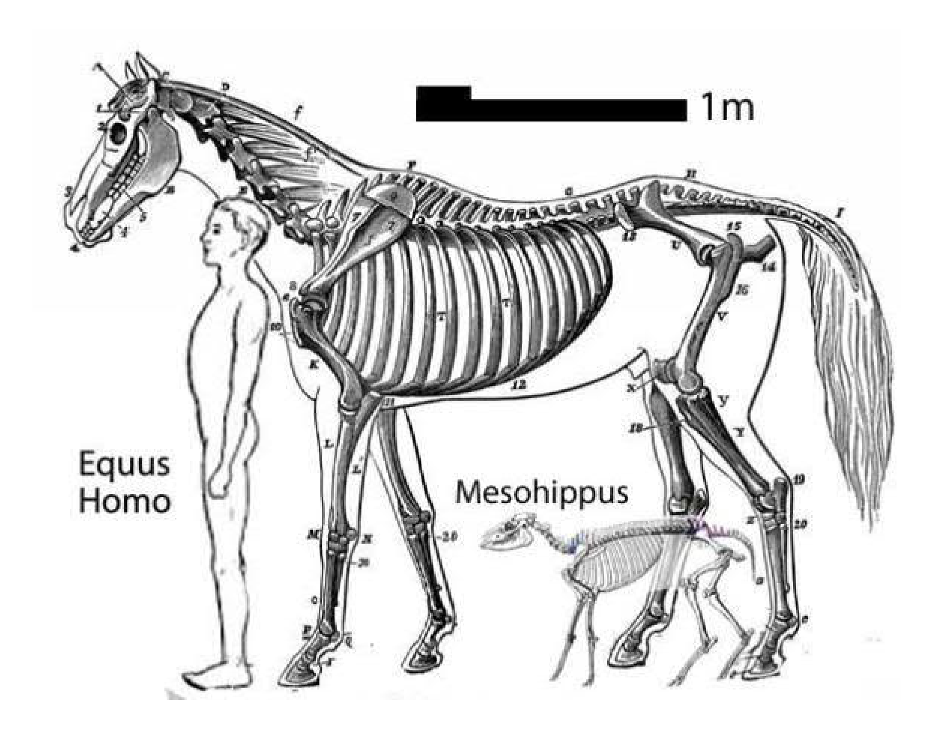


Eurohippus من عصر الإيوسين المتأخر في أورُبا

كان لـ Hyracotherium [الحيوان الشبيه ظاهريًا بالوَبْر] أسنان غير متخصصة وعلى الأرجح كان له نظام غذائي نباتي يتوافق معها. تطورت أسنان الـ Mesohippus [يعني اسمه الحصان المتوسط الحجم، كان طوله عند كتفيه ٦٠ سم تقريبًا وطول جسده ١٢٠ سم ووزنه حوالي ٣٤ كجم] _في عصر الأَلِجوسين المبكر_ لتُشَكِّل توليفةً من الأسنان القاطعة والطاحنة الساحقة، ربما ترافق ذلك مع كلٍّ من النباتات الغضة ذات العصارة والبذور في نظامه الغذائي. كانت أحصنة عصر الأُلِجوسين [الحديث اللاحق] أكبر حجمًا بكثير من أسلافها السابقة عليها [مثل Hyracotherium المعروف كذلك باسم Eohippus حصان فجر التاريخ] التي كانت في عصر الإيوسين (ربما كان وزن أحصنة عصر الأُلِجوسين ٤٠ إلى ٥٠ كجم)، وكان لها أرجل وأقدام أطول. وانخفض عدد الأصابع فيها إلى ثلاث في كل قدم (في حين كان لـ Hyracotherium أربع أصابع مزودة بحوافر في قدميه الأماميتين وثلاث مزودة بحوافر في قدميه الخلفيتين، وكان طوله حوالي ٣٥٫٥ سم عند كتفيه وطول جسده ٦٠ سم تقريبًا ووزن حوالي ٩ كجم)، ونمى هيكل الجسد من ضلوع وعمود فقري على نحو أقوى وبحجم أكبر.

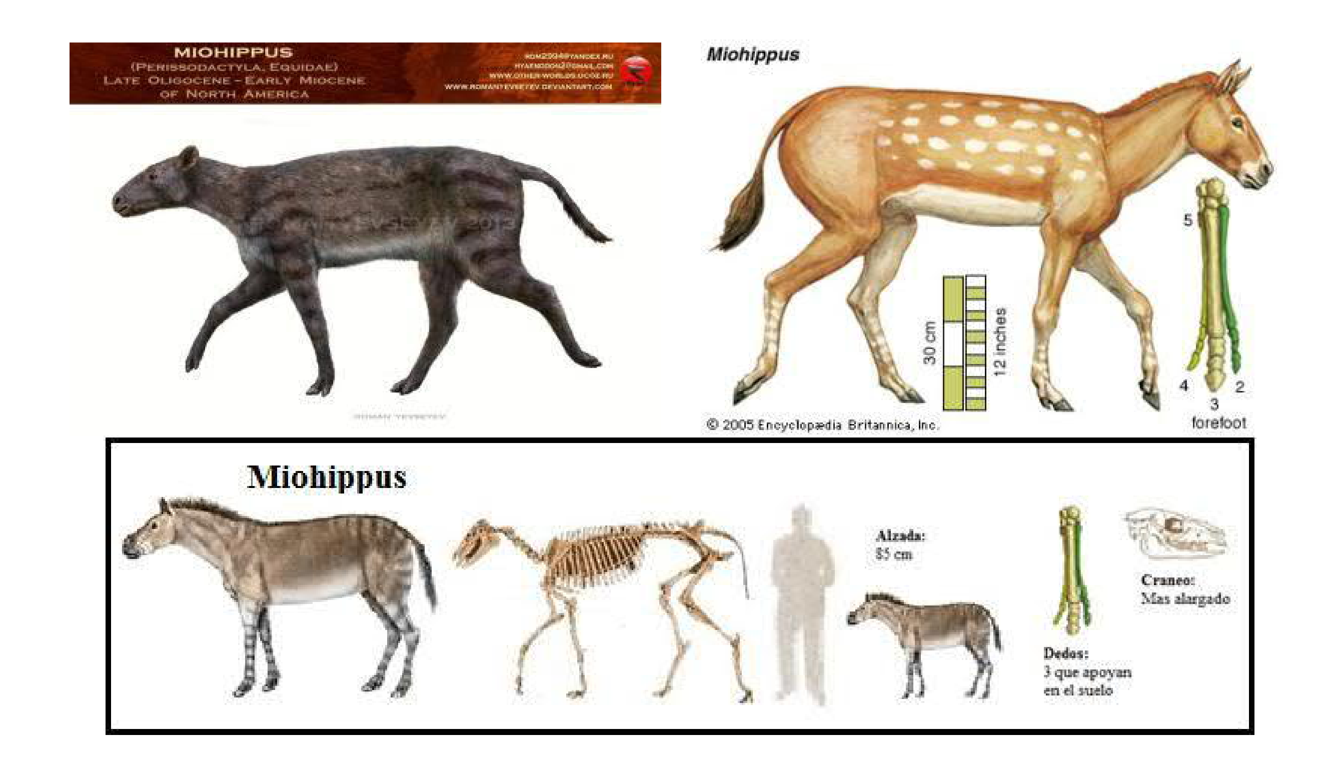




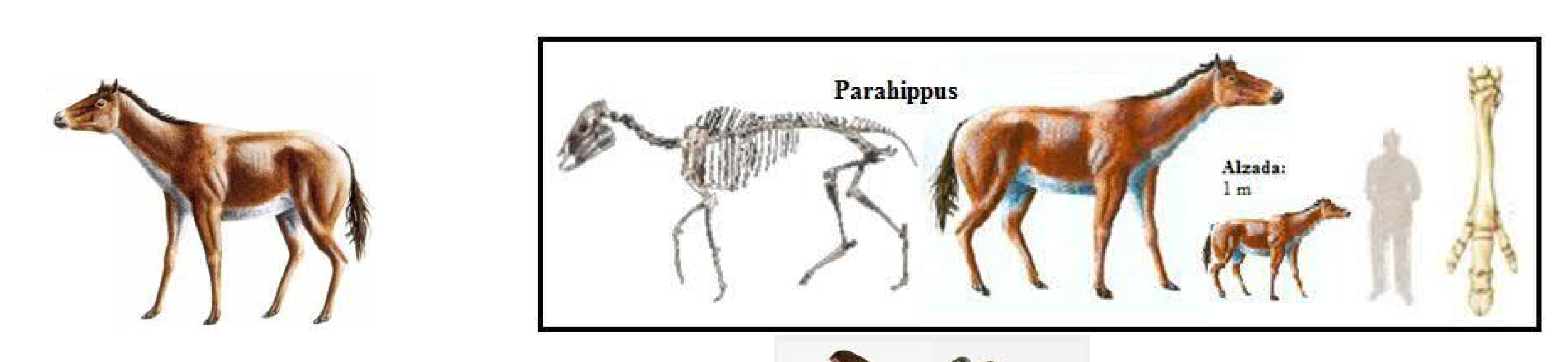


تـلا ذلك زمنيًّا النوع Miohippus [يعنـي اسمه الحصـان الصـغير الحجـم] الـذي وقد وُجِدت متحجراتـه فـي مُنْتانا وداكوتـا الشمالية ونبْراسْكا فـي أمِرِكـا الشمالية، ووصل وزن النوع Miohippus obliquiden منه _والذي يؤرخ إلى زمن يتراوح ما بين ٩, ٣٤ إلى ٣٠ مليون سنة ماضية_ ما بين ٩, ٣٤ إلى ٤٠ كجم، ثم صـار Miohippus أكبـر بكثير من Mesohippus، فصـار وزنـه من ٤٠ إلى ٥٥ كجم في بعض العينات المقدرة الأوزان اللاحقة زمنيًّا، فكانوا أكبر إلى حد ما من معظم أسلافهم المبكرين من الأحصنة في عصر الإيوسين، لكنهم كانوا لا يزالون أصغر بكثير من الأحصنة الحديثة، والذين يَزِنون في العادة حوالي ٥٠٠ كجم. كان Miohippus أكبر من Mesohippus وكان له جمجمة أطول بقليل جدًّا. وكان ثقبه الوجهي [ثغرة فوق عين الحصان تتحرك إلى الداخل والخارج أثناء مضغه وأكله ظهرت لأول مرة في Mesohippus، يعتقَد أن لها علاقة بطريقة ونوعية الأكل] أعمق وأكثر توسعًا، وصار مفصل الكاحل مختلفًا قليلًا، وكان له قشرة إضافية على الضروس العلوية منحته سطحًا أكبر لمضغ علف أخشن أقسى، وهذا صار سة نمطية لأسنان أنواع الخيليات اللاحقة.





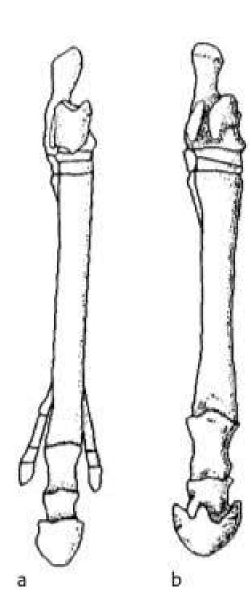
مع التبرُّدِ [زيادة البرودة] والتغير المناخي في عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط]، وانخفاض مساحة الغابات وتطور الحشائش والأعشاب كعنصر رئيسي في المناطق المكشوفة السهلية الأكبر فيما بين رقع الأراضي المشجَّرة، كان هناك غذاء أكثر للمرتعين على الحشائش وكذلك للمرتعين على الأوراق والفواكه والغُصَينات. لقد بقي عددٌ من أحصنة عصر المَيُوسين على قيد الحياة كمرتعين على الأوراق والفواكه والغصينات، لكن آخرين بدؤوا في استغلال مورد الغذاء الجديد باجتهاد. عرَّض الارتعاءُ على الحشائشِ الأسنانَ لمواد نباتية أكثر كشطًا وقساوةً، والمرتعي على الحشائش أكثر عرضة واحتمالية لوصول رمل وحبيبات صخر رملي إلى أسنانه مقارنة بالمرتعي على الأوراق والفواكه والغصينات؛ وكلا هذين الظرفين يؤدِّيان إلى بلى [تلف بالتحاتّ] أكبر للأسنان. أما في الجنس Parahippus [يعني اسمه "حصان تقريبًا" أو "شبه حصان"] فكان ارتفاع ضروسه ضعف ما كان لدى أجناس الأحصنة الأقدم منه، وكان حجم جسده كذلك مضاعفًا مقارنةً بها [يقدَّر وزن عينتين له له زمن حياتهما بـ ١٢٤ كجم تقريبًا والأخرى بوزن ٤٩ كجم تقريبًا، حسب بحث M. Mendoza, C. M. Janis, and P. Palmqvist، ويقدَّر وزن Parahippus leonensis بحوالي ٥, ٧٢ كجم].



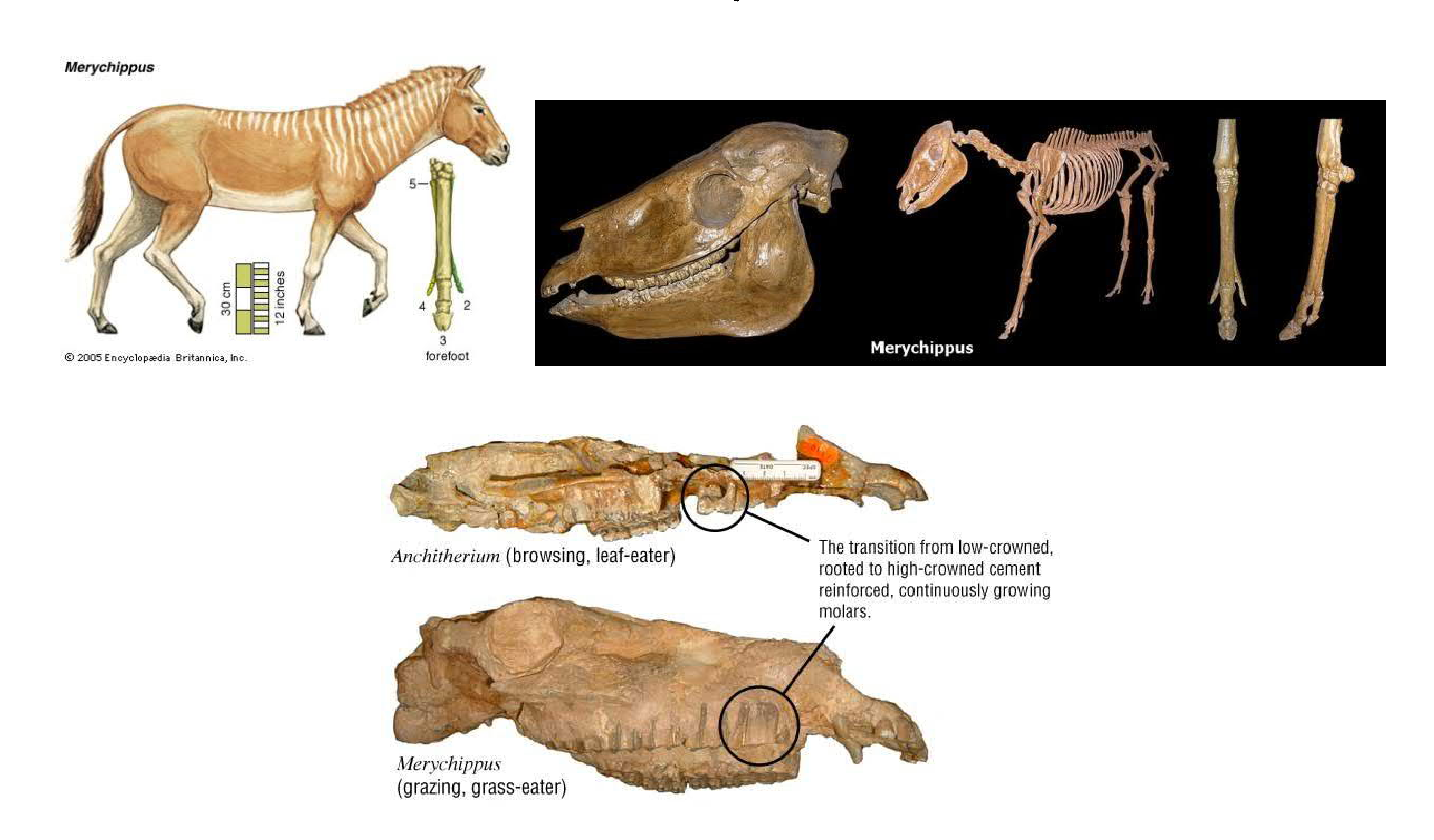


حدث تقدم تطوري كبير انفجاري للأحصنة المرتعية على الحشائش منذ حوالي ١٧– ١٨ مليون سنة ماضية، في عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط] المتوسط، إذْ انتشرت أنواع جديدة كثيرة. إن نوعي Parahippus [يعني اسمه الشبه حصان] و Merychippus [الشبه حصان الآخر، يعني اسمه الحصان المجتر وقد ونشأ اسمه من اعتقاد بأنه كان مجترًّا، ويرى علماء حاليًا أنه اعتقاد لا دليل عليه] هما مثالان جيدان، فقد كانا بحجم سلالات الخيول القزمة [كالسيسي] وذوات ثلاث أصابع في كل قدم (الصورة ١٧– ١٢ أ).

كانت مجموعة كاملة من التغيرات التطورية في Merychippus تكيفاتٍ للارتعاء على الحشائش في السافانات بدلاً من الارتعاء على الأوراق والفواكه والغصينات. نمت الأسنان أكبرَ وأطول مع جذورٍ أعمق ومينا أكثر تعقيدًا أيضًا، ودُعِمَتْ بمادة ملاطية [طلائية] لكي تبقى لزمن أطول تحت ضغط نظام غذائي غني بالسِلِكا. وكانت متموضعةً على طول فك أطول وأكبر، مع خطم عريض مسطَّح، في جمجمةٍ أطول وأعمق وأثقل. أثبَتَتْ الدراسةُ المعقَّدة لحركات الفك _ والتي كُشِفَت عن طريق أنماط بلى الأسنان_ أن Merychippus مضغ الطعام بحركةِ فكٍّ اختلفت على نحو واضح عن الحركة الخاصة بأسلافه والسابقين عليه، معتمِدًا على الحركة إلى الجانبين للتقطيع والجزّ بدلًا من التقطيع بحركة ساحقة ضاغطة متجهة إلى الأسفل.



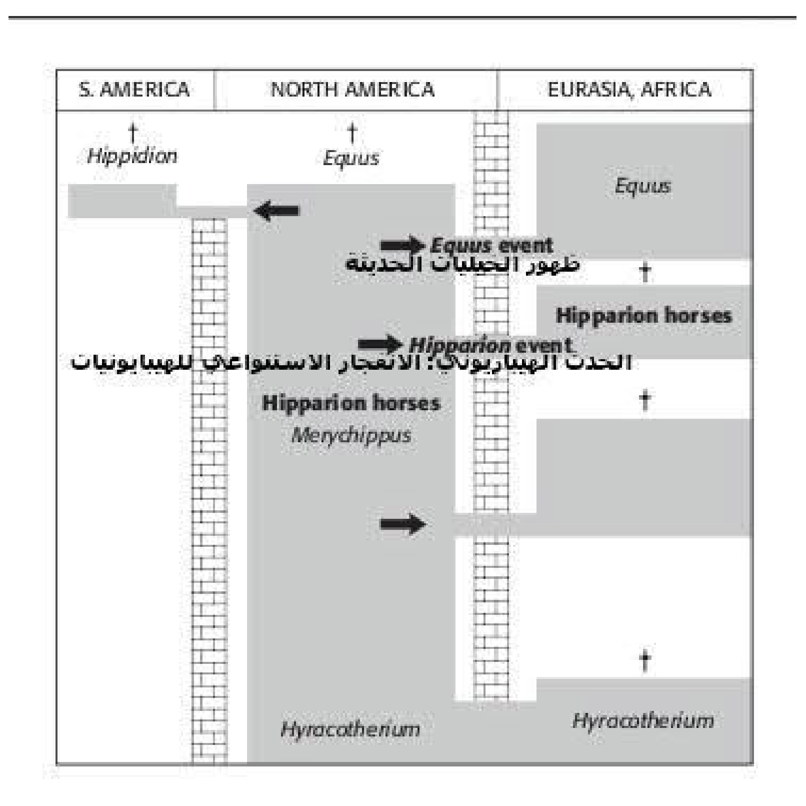
الصورة ١٧- ١٢ (أ) القدم الخلفية للحصان Merychippus من عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط] و(ب) والحصان الحديث Equus. يتطلَّب الركض السريع أن يكون هناك أقل قدر ممكن من الكتلة [الحجم]عند نهاية الأطراف، وكان Merychippus قد تطور بقرب ذلك الوضع النموذجي. وفقد الحصان الحديث (Equus) الإصبعين اللذين على الطرفين في آخر الأمر.



كانت الكثير من الأحصنة الجديدة المرتعية على الحشائش أكبر حجمًا من أسلافها (ما بين ٥٠ إلى ١٠٠ كجم)، لأن العلف المنخفض الجودة والسعرات الحرارية شجَّعَ على اتساع سعة المعدة أكثر. صارت الأطراف أطول نسبيًّا ومتطورة على نحو أفضل لجري أسرع، حيث صار الأمان يعتمد أكثر على السرعة أكثرَ مما يعتمد على التخفِّي والتموَّه. صارت المعدة خاصة بذوات الحوافر حقًّا. وبدلًا من الجري على قدم مبطَّنة، كما يفعل التابير وكما كانت قد فعلت الأحصنة الأقدم، فإن Merychippus جرى على قدم واحدة ذات حافر واقفة على إصبعها، واختُزِلَت وقلّت الإصبعان الجانبيان حجمًا وأهميةً

(الصورة ١٧– ٢). يتطلَّب الركض السريع تقليل الكتلة [الحجم] بأقصى قدر ممكِن عند نهايات الأطراف. كان للقدم أربطة قوية أمكنها الانثناء لتقليل ضغط الاصطدام في أثناء الركض.

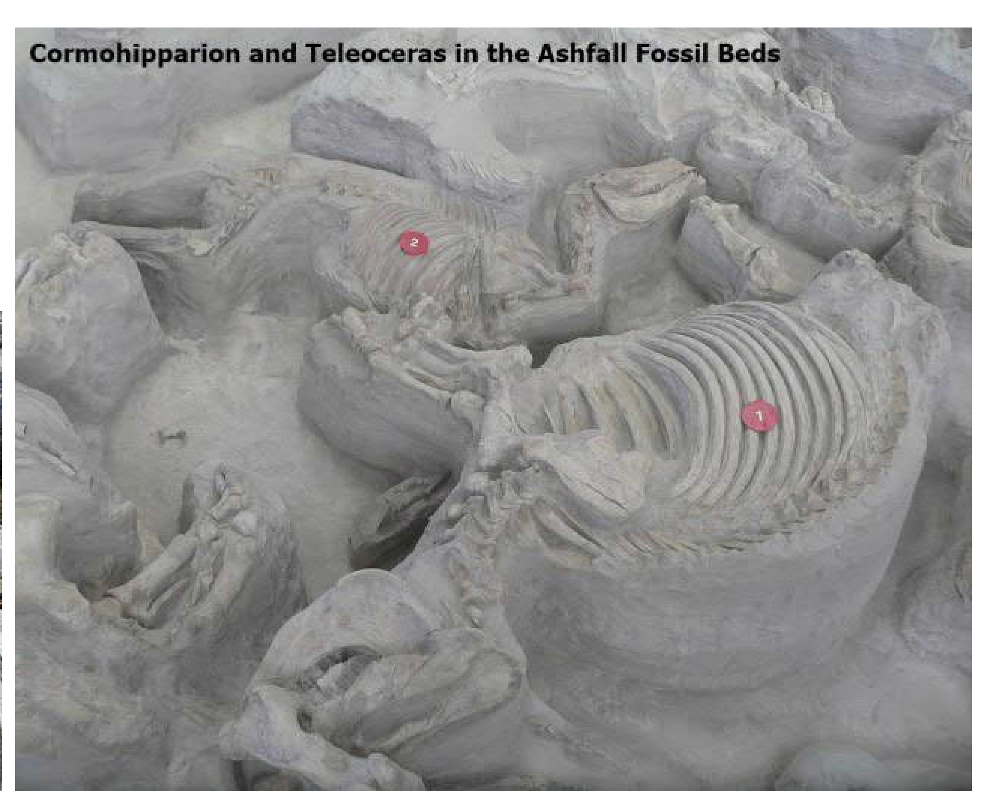
شجَّعَتْ مَواطنُ الساڤانا الجديدة على تنوع مُتزايد في الأحصنة. ففيما بين ١٨ و١٥ مليون عام ماضٍ كانت هناك زيادة درامية كبيرة في عدد الأحصنة المرتعية على الحشائش في أمِركا الشمالية؛ في الواقع ازداد عدد الأنواع حتى كان هناك ١٨ نوع مرتعٍ على الحشائش معًا في أمِركا الشمالية. كانت بعض تلك الأحصنة الجديدة كبار الأحجام وبعضهم صغار الأحجام، لكنْ احتفظوا كلهم بالتحسُّناتِ في السمات الخاصة بالهيكل العظمي والأسنان التي مكَّنَتْهم من الارتعاء على الحشائش في الأراضي المعشوشبة المفتوحة. تطورت مجموعةٌ [فصيلة] من الأحصنة الشمالي أمِركِية ذوات ثلاث أصابع تُدْعى الهيباريونيَّات hipparions (قبائل أو عمارات Hipparionini) [هيباريون: كلمة جريكية تعني الفَرَس] منذ حوالي ١٥ مليون سنة في عصر المَيُوسين الأوسط. أحد أنواعها وهو Cormohipparion [الهيباريون الكروموِيّ، الهيباريون النبيل] هو الحصان الذي وجد طريقه خارج أمِركا الشمالية وغزا الساڤانات في كل أنحاء العالم القديم[1] مُخلِّفًا متحجراتٍ وفيرةً للغاية لدرجة أنها تمثِّل علامةً ذات قيمة عند زمن حوالي ١١ مليون سنة ماضية، وهو ما يُعرَف بالحَدَث الهيباريوني Hipparion Event (الشكل ١٧– ١٣).



الشكل ١٧– ١٣ الجغرافية الحيوية للخيول عبر الزمن. لقد رُسِمَت رسومٌ بيانية كهذا منذ ثمانينيات القرن التاسع عشر (١٨٨٠ات). تقوم هذه النسخة على عمل Bruce MacFadden (١٩٩٢). لا يظهر التوقيت الزمني في الرسم البياني. يُظهِر الرسم البياني كيف استطاع تُمِس هكسلي معرفة وتحديد قصة معقولة ولو أنها غير كاملة عن تطور الأحصنة من خلال الأدلة في أوراسيا، ولماذا احتاج إلى إعادة كتابة محاضراته عندما رأى أدلة أمركا الشمالية. من آن إلى آخر، هاجرت الخيليات خارج أمركا الشمالية عَبْرَ الحواجز الجغرافية (تظهر كحائط مبني من الطوب]. في آخر انقرضت خيليات العالم الجديد، ليعاد جلبها من العالم القديم على أيدي المستعمرين الجدد لأمركا الشمالية الإنجليز والفرنسيين وغيرهم.

[1] العالم القديم: أفريقيا وآسيا وأوربا، كل العالم المعروف لسكانه، قبل اكتشاف أمركا وأوقيانوسيا (أستراليا ونيوزيلاند والجزر الأوقيانوسية في المحيط الهادئ.















美国内布拉斯加安蒂洛普中中新世动物群马类组合

Combination of horse in Middle Miocene Mammalian Fauna from Antelope , Nebraska, US

敏捷上新马	黄昏祖三趾马	近新三趾马	巨型原马	喜悦假三趾马
Pliohippus pernix	*Cormohipparion occidentale*	*Neohipparion affine*	*Protohippus simus*	*Pseudhipparion gratum*


The Field Museum
Models of Extinct Horses
Skulls of Fossil Horses
Fore and Hind Legs of Fossil Horses
Measurement of Geological Time
Evolution of the Horse
From a Four-toed Animal to a One-toed Animal
History of the Horse Family

وجدت أنواع هيباريونية لاحقة زمنيًّا أيضًا طريقها خارج أمِرِكا الشمالية لتصنع علامات تاريخية أخرى أقل درامية وقوةً في مجموعات متحجرات العالَم القديم.

يحقِّق الحصان الهيباريوني الشمالي أمِرِكي من عصر المَيُوسين المتأخر Pseudhipparion [يعني اسمه الشبيه بالهيباريون، الهيباريون الضئيل، وهو أحد أنواع الهيباريونيات Hipparionini] الرقم القياسي في أقصى تطور للأسنان. فرغم أنه كان ضئيل الحجم، كان لديه ضروسٌ أعلى مما في أي حصان آخر معروف بالتناسب مع جسده. ففي المعتاد، تتوقف الأسنان عن النمو عندما تتكوَّن جذروها. في الخيليات الحية المعاصرة يحدث هذا عندما تَكُوْن الضروس قد بليت حتى نصفها تقريبًا. لكن في الـ Pseudhipparion لم تتكوَّن جذور الأسنان حتى وقت متأخر من عمره، لذلك كانت الضروس دائمة النمو لمعظم حياته. لقد تطور نفس هذا التحسن المُوَسَّع للأسنان على نحو مستقلٍ في القوارض والأرانب والوعول المتشعِّبة القرنين الشمالي أمِرِكيّة، وفي بعض الحيوانات المنقرضة المرتعية على الحشائش، لنفس السبب: لإطالة عمر الضروس وعمر الحيوان الذي يستعملهنَّ.

لقد أُسْتُعْمِلَتْ الأسنانُ كأدلة مباشرة على النظم الغذائية، للأسباب الموضَّحة أعلاه. ترافعية الأسنان Hypsodonty [كونها طويلة التيجان قصيرة الجذور] قد تطورت بالتأكيد لمضغ الحشائش المقاومة، لكن الحصان ذا الأسنان المترافعة كان يستطيع كذلك الرعي على النباتات الطرية. تُجري الحشائش مسار كيميائي مختلف لعملية البناء الضوئي (يُعرف بـ C4) عن الذي تقوم به الكثير من الشجيرات والأشجار (والذي يُعرَف بـ C3). ولأجل أغراضنا، فإنه لهامٌّ أن نلاحظ أن الحشائش القائمة بعملية C4 تُسبِّبُ شذوذًا نظيريًّا كربونيًّا [في التجزئة التناظرية] للكربون ١٣ (∂^{13} C) حوالي −٢٥ في الملّيمتر في أوراقها (راجع الفصل الثاني لموضوع التجزئة التناظرية)، بينما الشجيرات والأشجار القائمة بعملية C3 تُسَبِّب شذوذًا نظيريًّا كربونيًّا [في التجزئة التناظرية] للكربون ١٣ (∂^{13} C) حوالي −١٢. هذا الاختلاف كبيرٌ على نحوٍ كافٍ لكي يَظهَر في نظائر الكربون في أسنان الأحصنة التي أكلت النباتات (رغم أن الأرقام الفِعلية فيها تكون أقل). هاهنا قصة تحذيرية [تدعو للحذر العلمي]: لقد كان هناك ست أنواع من الأحصنة تعيش في فلورِدا في أمِرِكا منذ حوالي ٥ ملايين سنة ماضية، كلها كانت مترافعة الأسنان. لكن دراسة الأسنان بالنظائر المشعَّة كشفَت أن أكبرها حجمًا _وهو Dinohippus [يعني اسمه الحصان الضخم]_ كان يرتعي على الشجيرات وليس على الحشائش! بينما كان آخرون منهم يأكلون نظامًا غذائيًّا خليطًا، بما فيهم Pseudohipparion ذو الأسنان المترافعة hypsodont إلى أقصى حد (السالف ذكره أعلاه). لا يسهُل معرفة ما يعنيه كل هذا، عدا أن الحيوانات ستأكل ما هو متاح. ترتضي الأيائل تمامًا بأكل أوراق شجر العنب وحديقة زوجتي بدلًا من الارتعاء على الحشائش كما يُفْتَرَضُ بها، وهناك أيائل تأكل الطيور الصغيرة السن، وذباب (ذباب الماشية) يأكل العلاجيمَ (ضفادعَ الطين).



https://www.youtube.com/watch?v=XhMMETv3ecA

يتغذى ذباب الخيل أو الماشية horsefly or gadfly (يعرف كذلك بالنُّعَرَية، ذباب الغزلان) على الضفادع الحية!

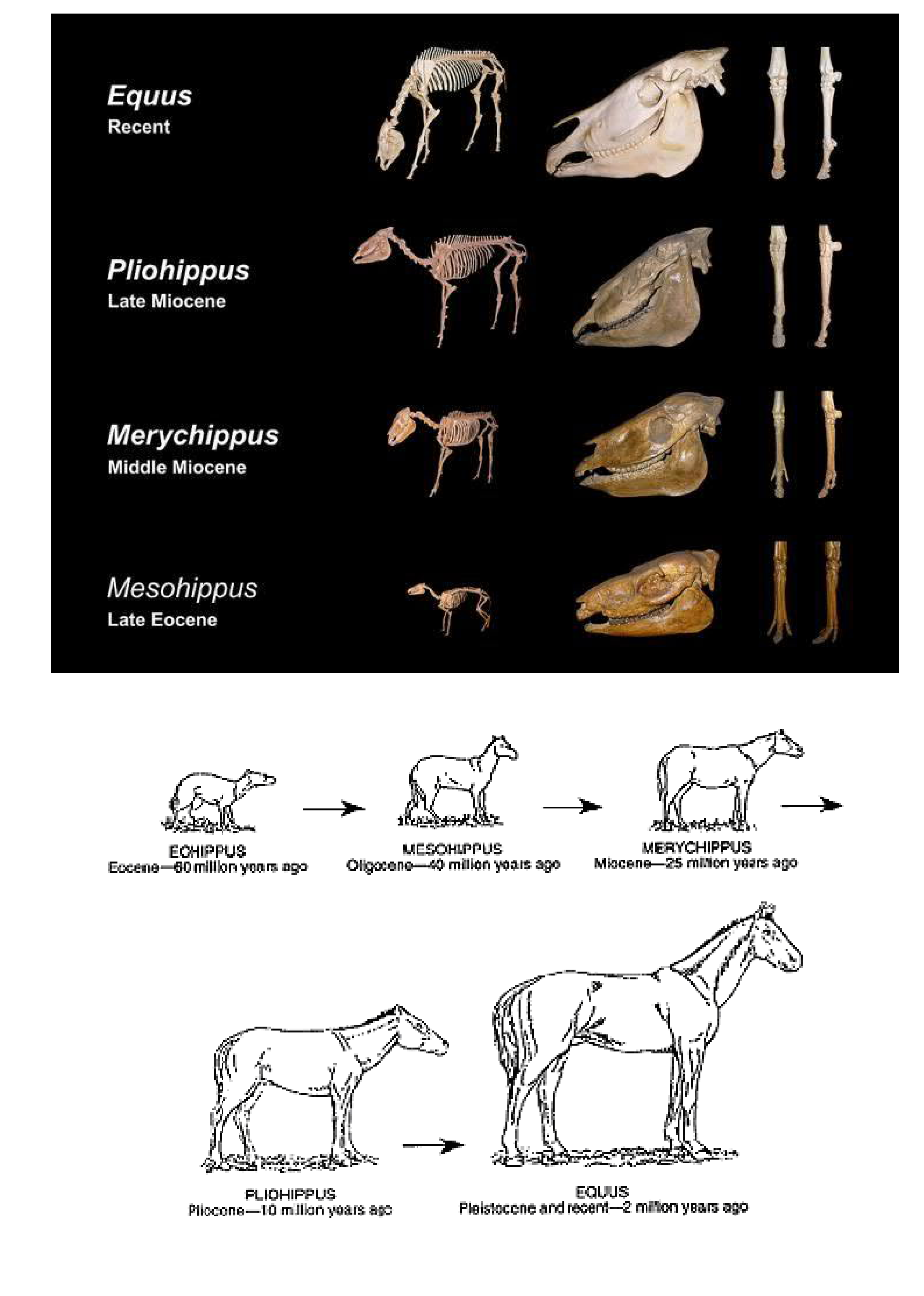
في أمِرِكا الشمالية، استحثَّ وسارعَ نشوء الجبال الغربية من تكيف الأحصنة مع الأراضي المكشوفة. صارت الأراضي السهلية العالية سهولًا مرتفعة معشوشبة بدلًا من الساڤانا. ففي عصر البِلَيوسين[1] [الحديث القريب]، تطورت الأحصنة الحديثة من الهيباريونات باختزال [تقليل] أصابع أقدامها إلى إصبع واحد (الصورة ١٧− ١٢ يمين)، وتطورت الحصان نفسه (Equus) منذ حوالي ٥ ملايين سنة ماضية، وعلى نحو فيه مفارَقة على نحوٍ كافٍ، كان أقرب قريب تطوري للأحصنة الحديثة Equus الأقدم هو المرتعي على الأوراق والغصينات (انظر أعلاه). يدل الحدث الحصاني في سجل المتحجرات [ظهورها

[1] البِلَيوسين Pliocene: الحديث القريب، الحقب الأخير من العصر الثالث ، حيث يأتي بعد الكَيوسين وقبل البِلَيِسْتُوسين، وامتد من نحو ٥ إلى مليوني سنة خلت.

ووفرتها فيه] على غزوها للعالم القديم (الصورة ١٧– ١٣). لقد وصلوا إلى الهند بحلول ٣ ملايين سنة ماضية ثم أورُبا بحلول ٦, ٢ مليون سنة ماضية، ووصلت الحمير الوحشية إلى أفريقيا في نفس الزمن تقريبًا.

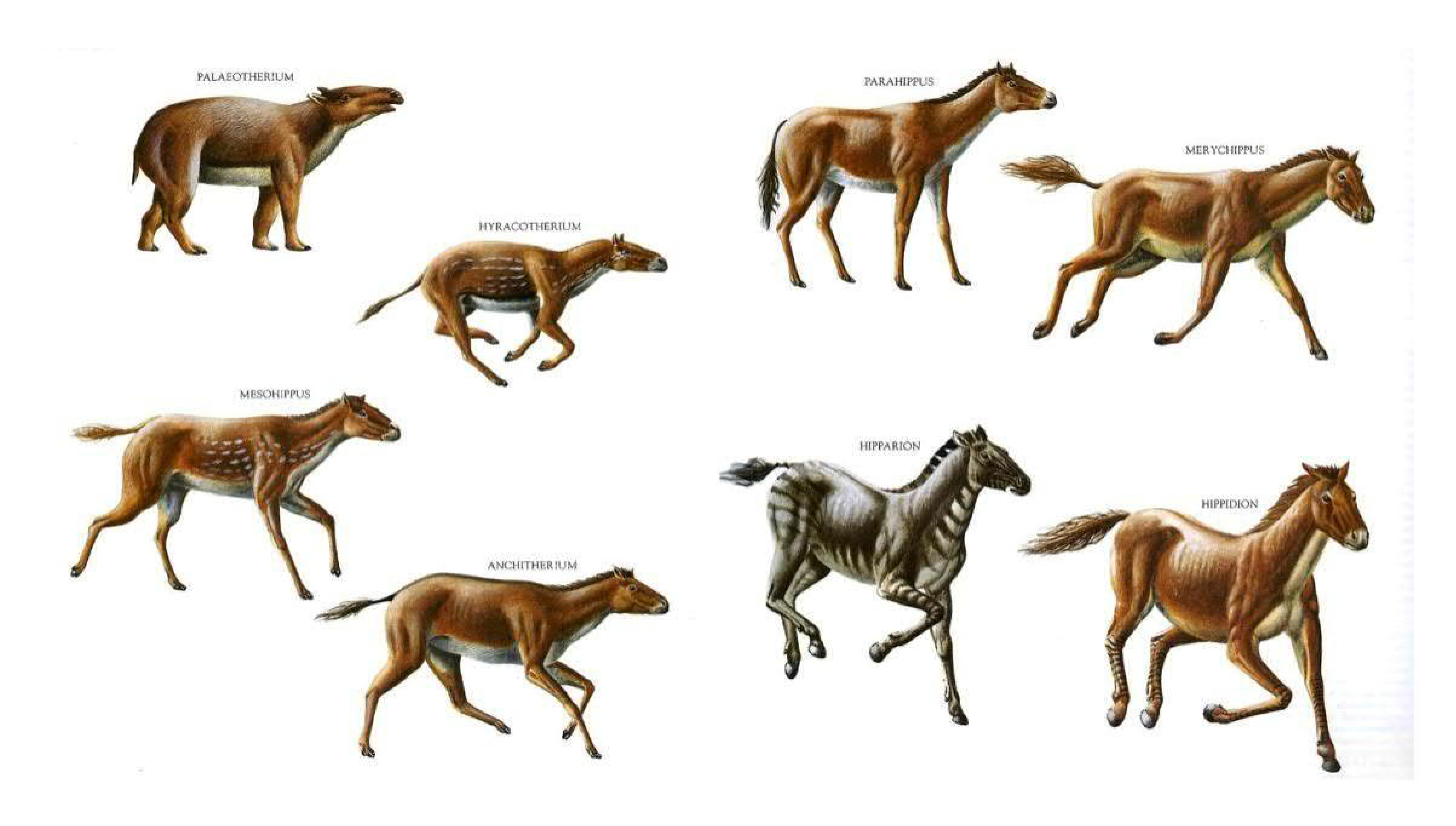
لقد أُنْقِصَتْ الخيول في العصر الحالي إلى سبعة أنواع فقط على مستوى العالَم، كلها تعود أصولها التوطنية إلى العالم القيم. ويظل نوعا حصان بريزولسكي البري Przewalski's horse والأحصنة المدجَّنة على قيد الحياة بفضل حماية ورعاية الإنسان فقط. كل ما يُسَمَّى بـ "الأحصنة البريَّة" هي أحصنة هربت أو أُطْلِقَتْ من الترويض والتربية [والنوع البري الحقيقي الوحيد الباقي حيًّا هو حصان بريزولسكي]. لا يزال على قيد الحياة نوع واحد مهدد بالانقراض من الحمير البرية wild ass في أفريقيا وواحد آخر في آسيا، وثلاثة أنواع من الحمير الوحشية [المخطَّطة، حمار الزَّرَد، العتَّابي] zebra في أفريقيا.

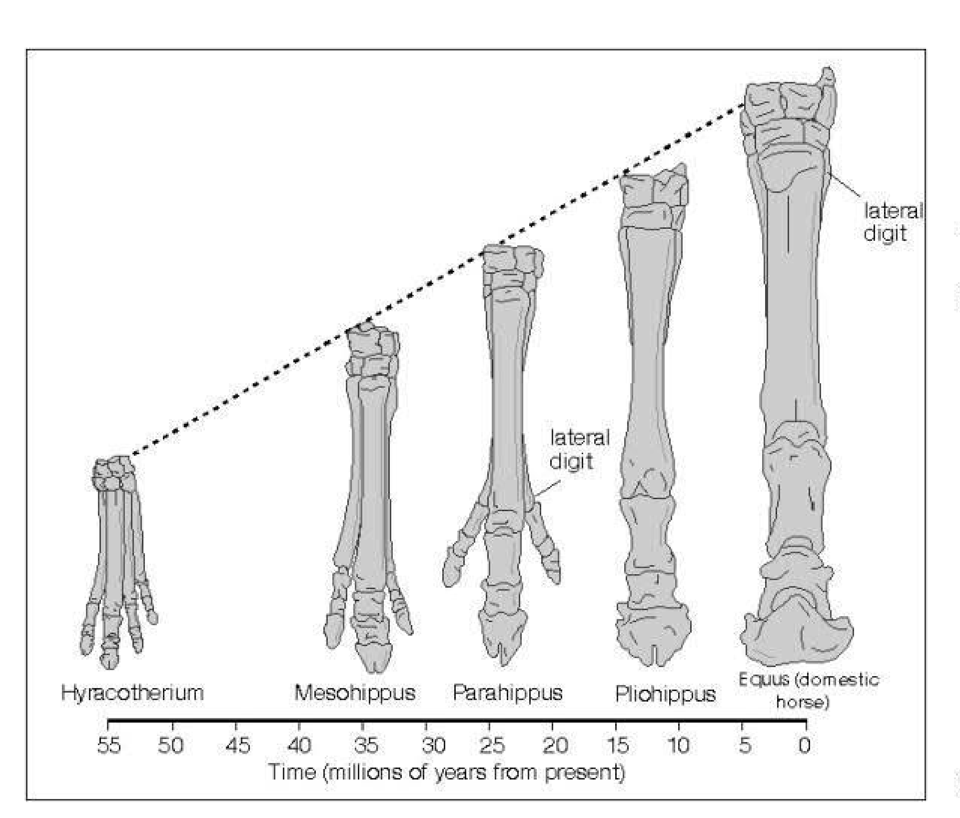
لكن هذا التنوع المنخفض هو نتيجة لانقراضات كارثية حدثت في آخر مليوني سنة ماضية. ففي نهاية عصر البِلَيوسين كانت الأحصنة وفيرة الأعداد ومتنوِّعة في كل القارّات ما عدا أستراليا والقطب الجنوبي. لو نظر عالم حيوان إليها في ذلك الزمن، فمن منظوره كان سيرى أن بناءها الجسدي وتكيفاتها ناجحة على نحو ملحوظ. إن أكثر حادثة مفاجئة [منعطَف مفاجئ] في قصة تاريخ الأحصنة التطوي هي _بالتأكيد– أنها انقرضت في الأمِركَتين [الشمالية والجنوبية] في عصر البليستوسين[1] المتأخر (الشكل ١٧– ١٣ والفصل ٢١) وأعيد جلبها المتأخر (الشكل ١٧– ١٣ والفصل ٢١) وأعيد جلبها إليهما فقط في عام ١٤٩٢م.

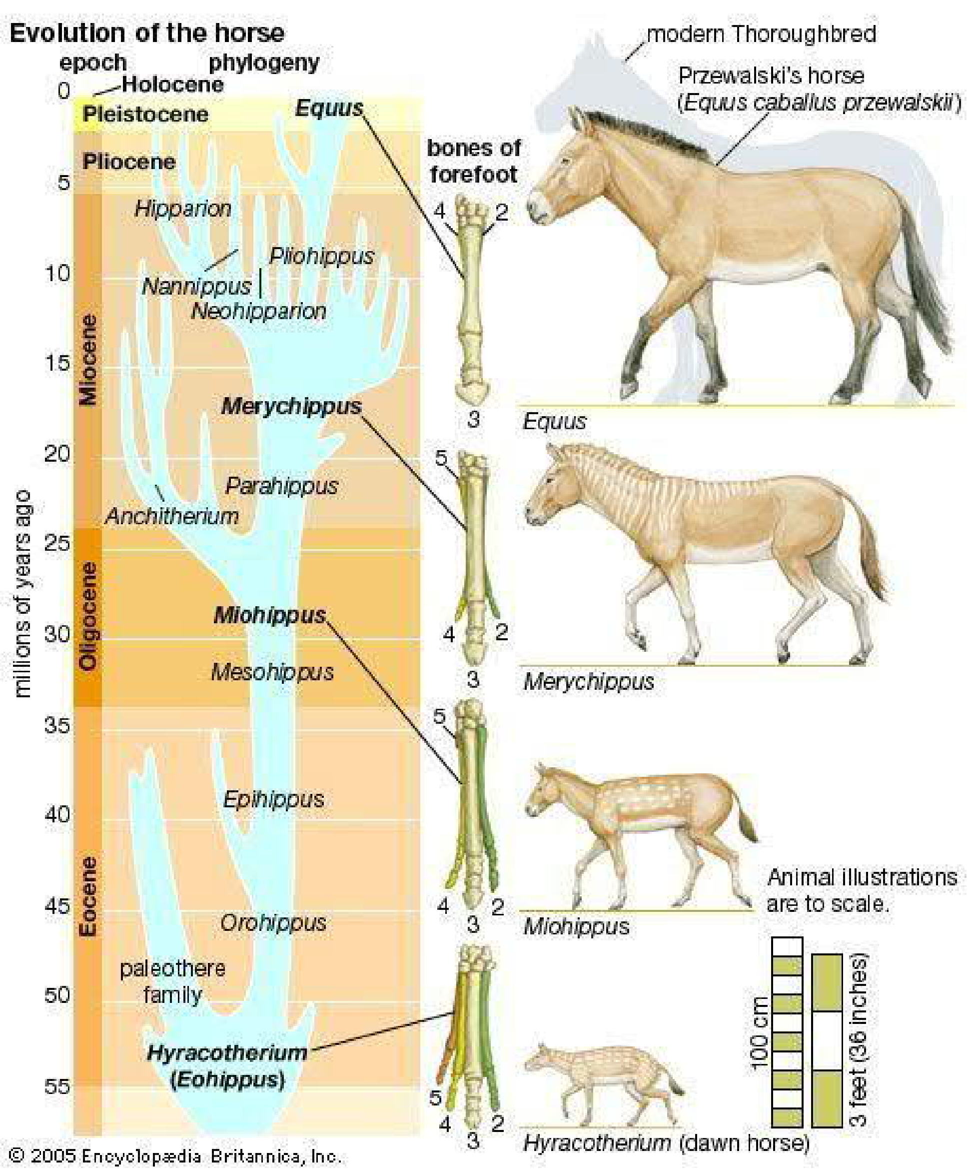


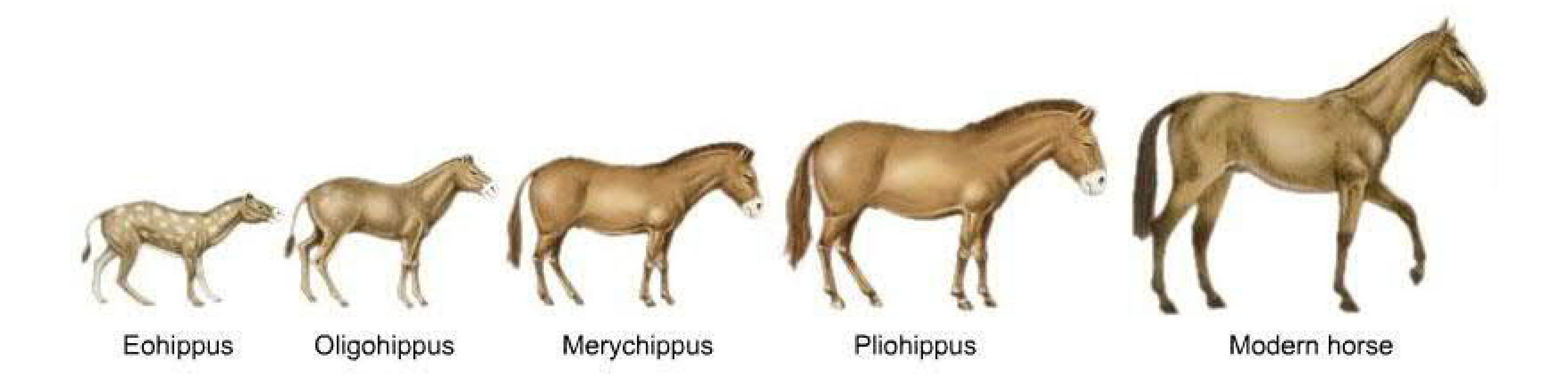
---

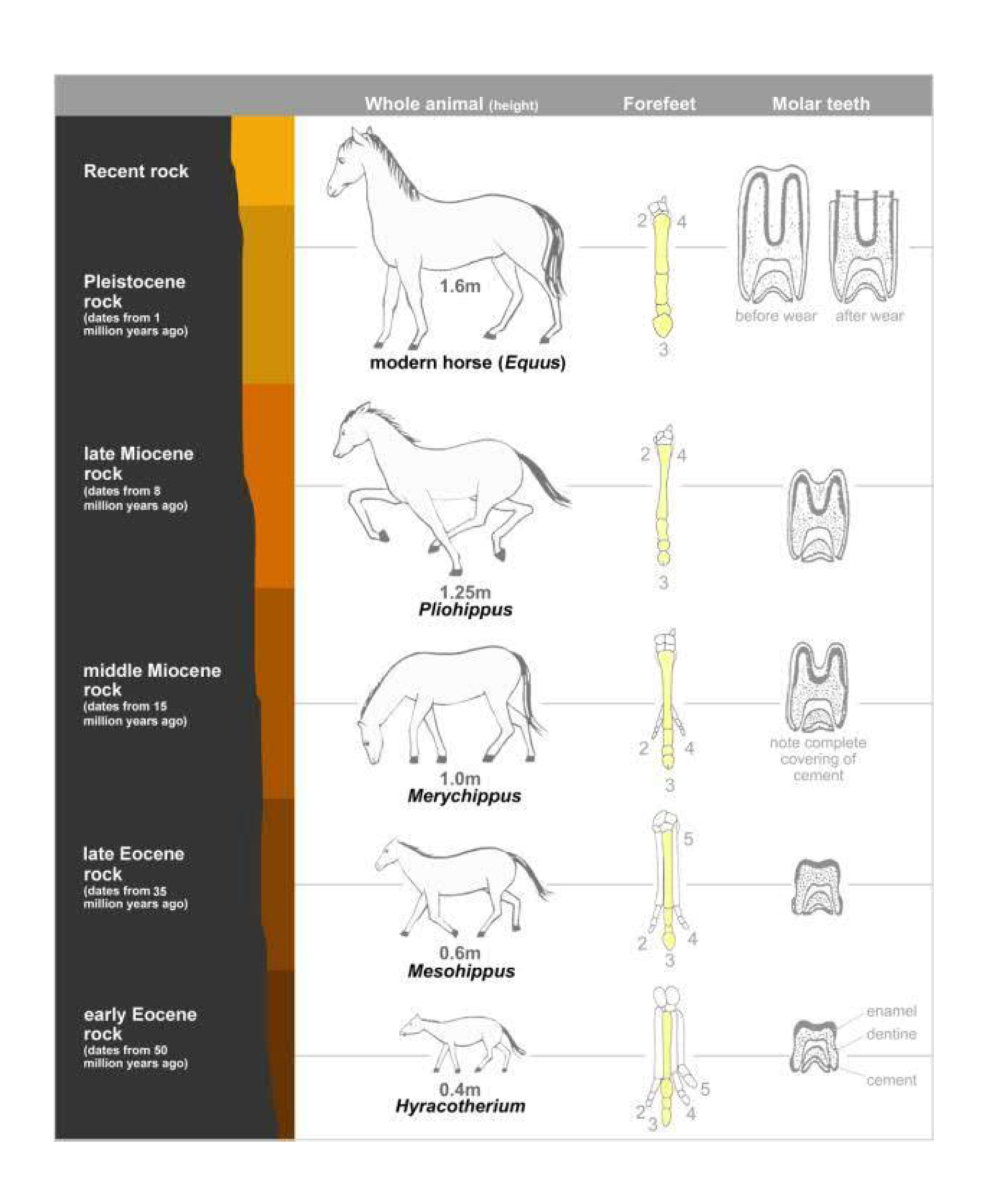
[1] عصر البِلَيسْتُوسين أو البلايستوسين Pleistocene [العصر الحديث الأقرب، وهو أول عصر في الدور الرابع Quaternary من العصر الحديث ويدعى ايضًا بالعصر الجليدي]

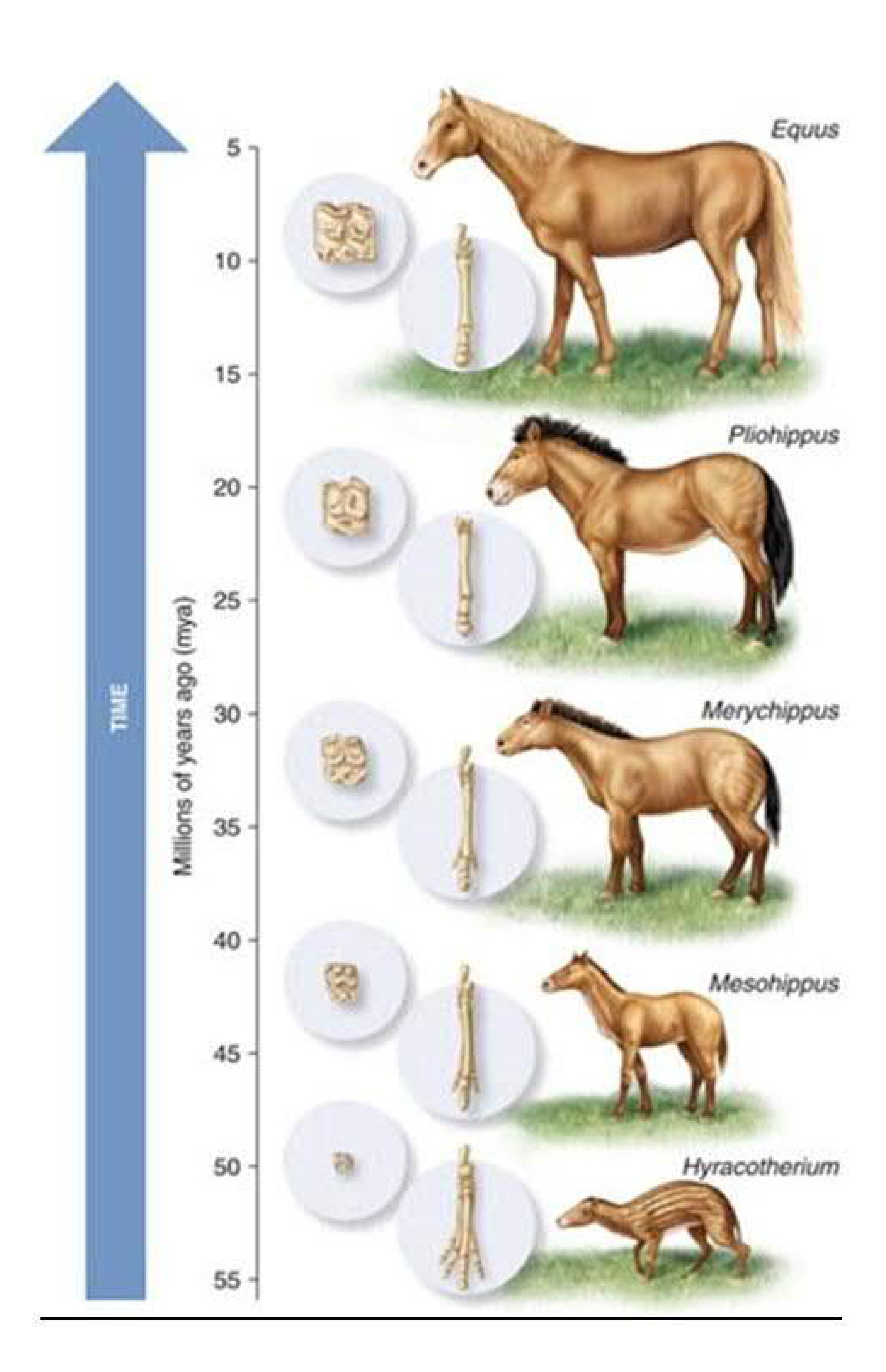

PALAEOTHERIUM
HYRACOTHERIUM
MESOHIPPUS
ANCHITHERIUM
PARAHIPPUS
MERYCHIPPUS
HIPPARION
HIPPIDION

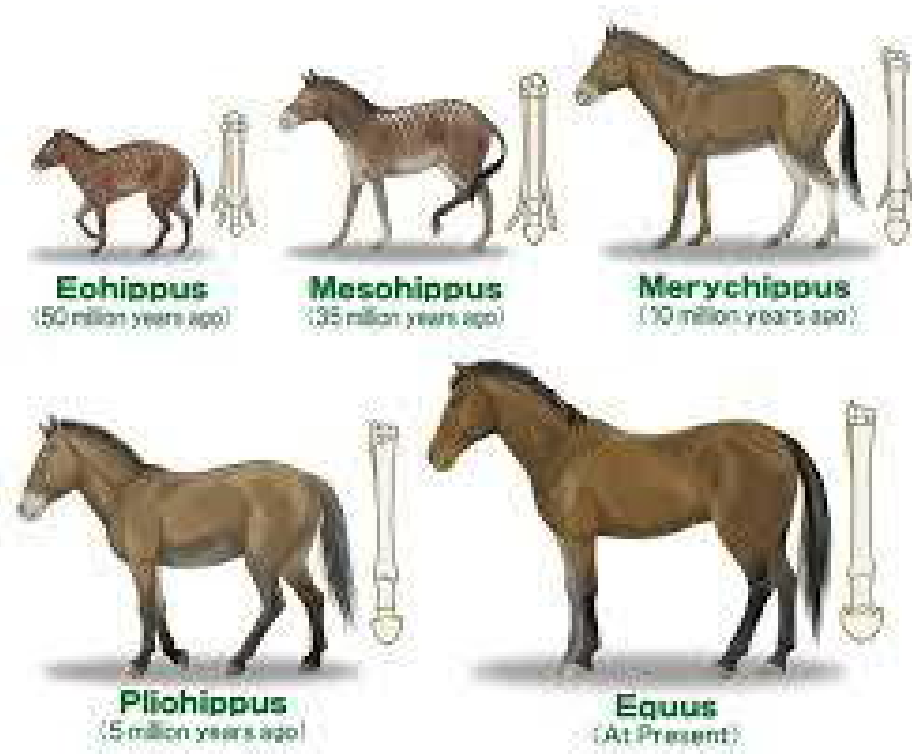

lateral digit
lateral digit
Hyracotherium
Mesohippus
Parahippus
Pliohippus
Equus (domestic horse)
55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5 0
Time (millions of years from present)


Evolution of the horse
epoch
phylogeny
Holocene
Pleistocene
Pliocene
Miocene
Oligocene
Eocene
millions of years ago
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55
Equus
Hipparion
Pliohippus
Nannippus
Neohipparion
Merychippus
Parahippus
Anchitherium
Miohippus
Mesohippus
Epihippus
Orohippus
paleothere family
Hyracotherium (Eohippus)
bones of forefoot
modern Thoroughbred
Przewalski's horse (Equus caballus przewalskii)
Equus
Merychippus
Miohippus
Hyracotherium (dawn horse)
Animal illustrations are to scale.
100 cm
3 feet (36 inches)
© 2005 Encyclopædia Britannica, Inc.

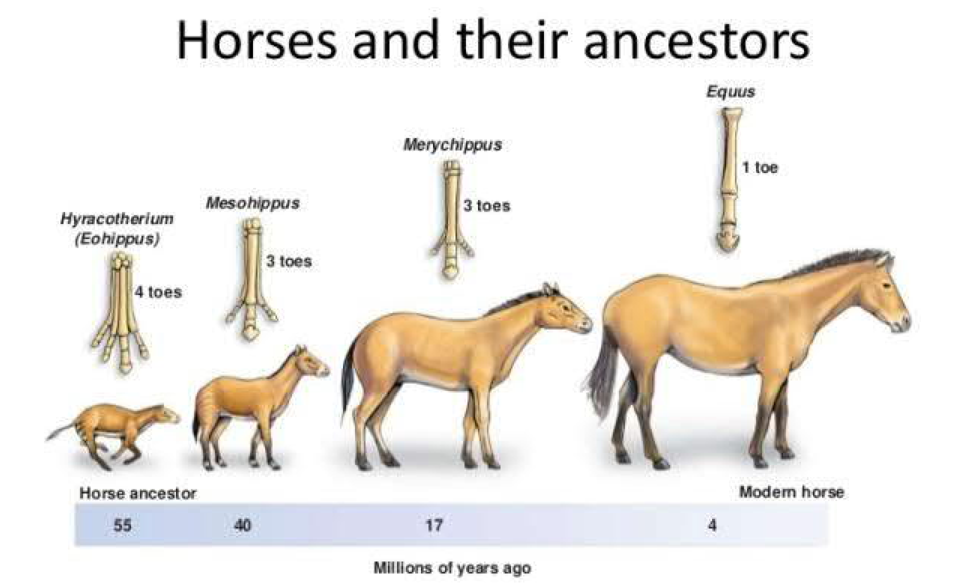

Eohippus
Oligohippus
Merychippus
Pliohippus
Modern horse

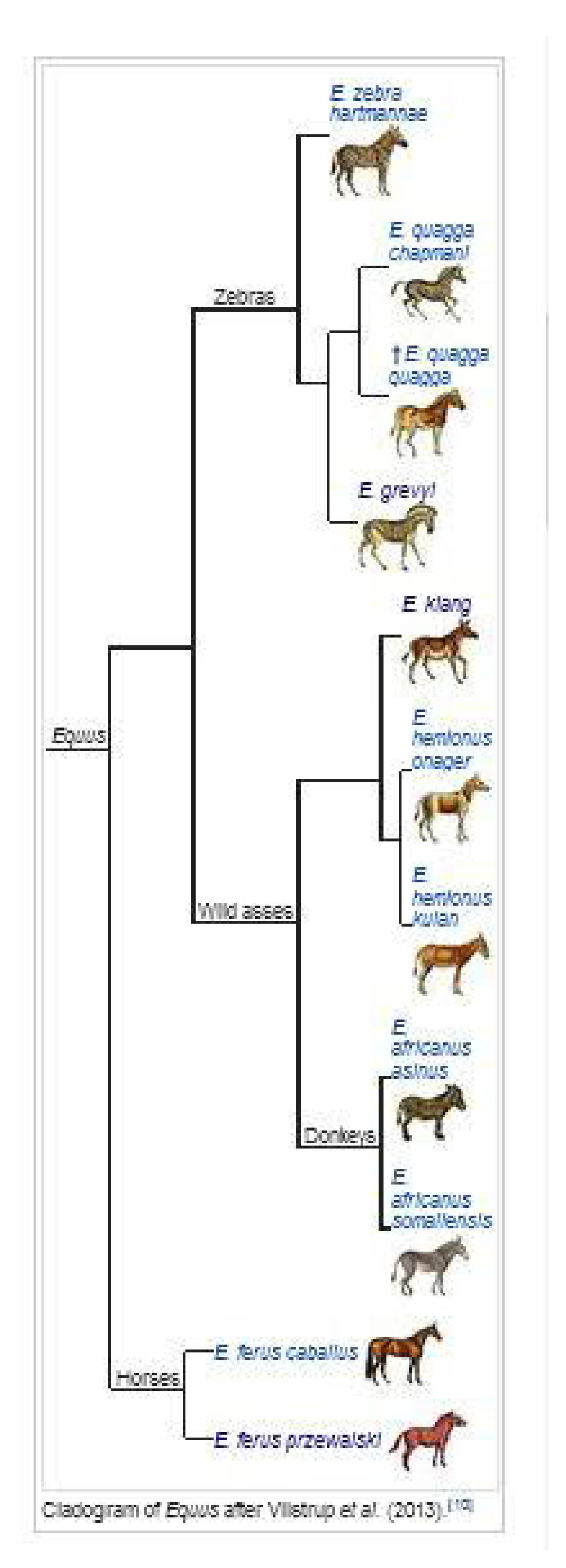




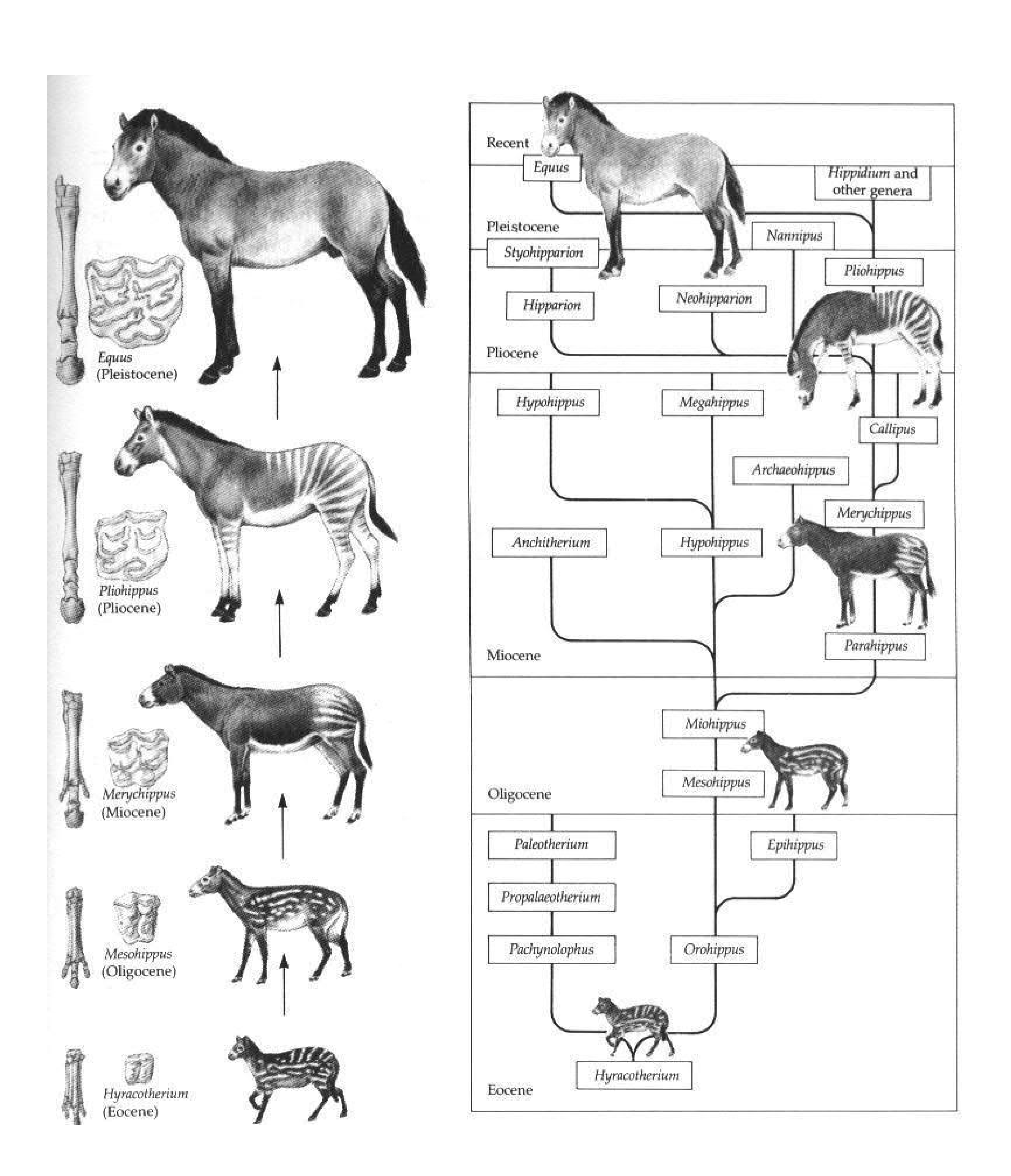


Horses and their ancestors





شجرة نسب تطوري لبعض أجناس الخيليات المعاصرة



شجرة نسب تطوري تقريبية للخيليات

أدناه بعض متحجرات الخيليات العتيقة التي كان لها أقدام ذوات أصابع، لكنها ليست من أسلاف الخيليات المعاصرة، بل كانت أقارب تطورية لأسلافها:







من الخيليات العتيقة التي كان لها أصابع اقدام، حصان "olive horse" اكتُشِف في ربيع ٢٠١٥م ويعود لعصر الإيوسين [فجر الحديث]، وُجِدَت متحجرتُه في تكوين النهر الأخضر Green River Formation، قربَ Kemmerer، قرب بحيرةِ الدب ومدينة بارك Bear Lake and Park City، في Wyoming في أمِركا، وقد يكون من أسلاف الأحصنة أو أقارب أسلافها.

الفصل الثامن عشر: الجغرافيا والتطور

يعمَلُ الانتخابُ الطبيعيُّ على أفراد الكائنات المتعضيّة جزئيًّا عن طريق استجاباتهم لبيئاتهم. وعلى مقياس أكبر، يتأثر تطور المجموعات الأكبر عددًا الخاصة بالكائنات المتعضِّية بقوة بالمؤثرات [أو العوامل] الجغرافية الكبيرة. سأبحث بالتفصيل في هذا الفصل بعض جوانب تطور دهر الحياة الحديثة التي تأثرت بالجغرافيا.

أستراليا

أستراليا مرتبطة في ذهن الناس بكائنات حية عجيبة مثل الكناغر والكوالا وأنواع من الببغاوات والطيور الغير طائرة، لكنها جزء فقط من قصة التطور على هذه القارة المعزولة. إن النباتات والحشرات والبرمائيات والزواحف والطيور والثدييات الأسترالية كلها غير اعتيادية. لقد كانت أستراليا ونيوزيلاند جزءًا من قارة جُنْدُوانا العتيقة في العصر الطباشيري، متحدة مع القطب الجنوبي عند خطوط العرض العالية. رغم ذلك، فقد كان الطقس معتدلًا هناك في ذلك الزمن، وقد تواجدت الزواحف المجنحة الإصبع الرابع المستطال [التيروسورات pterosaurs] والديناصورات والزواحف البحرية هناك. في دهر الحياة الحديثة المبكر انفصلت الكتلتان الأرضيتان عن القطب الجنوبي وبدأتا في الانجراف باتجاه الشمال وتباعدتا. في خلال تلك العملية، صارت أستراليا ونيوزيلاند منعزلتين جغرافيًّا وإيكولُجِيًّا عن الكتل الأرضية القارِّيّة الأخرى، وقد أدى التطور في مجتمعات أنواع حياتها الحيوانية والنباتية إلى تناظرات مثيرة للاهتمام [عمليات تطور متناظر متلاقٍ] مع الكائنات التي هي في القارّات الأخرى.

فضمن البرمائيات، لدى أستراليا (أو كان لديها) نوعان على الأقل من الضفادع التي تفقص صغارها في مَعِدَاتها. وفي الزواحف بدلًا من الثعابين الغير السامة (colubrid or coluber) والأفاعي السامة الصغيرة [الجِنان السامّة] التي هي الأكثر وفرةً في كل مكانٍ آخر في العالم، لدى أستراليا تشعُّب من الأفاعي السامَّة (elapid or ealpine) (الكوبرا وأقاربها التطورية) يتألَّف من حوالي ٧٥ نوعًا، كلها شديدة السُمِّيَّة. أما أكبر المفترِسات الأسترالية فهي تماسيح الماء المالح (وهي أكبر الزواحف الباقية حية حجمًا في العالم)، والتي تكمُنُ على طول الأنهار الشمالية والسواحل البحرية الشمالية، يتلوها سحالي وَرَلِيَّة ذوات قرابة لسحالي تنين كومودو الإندونيسية. الوَرَلِيَّات هي حيوانات مفترِسة تصطاد بالكمون، وأكبر سحلية وَرَل أستراليّة حية طولها متران (أكثر من ٦ أقدام). أما أنواع الورليات الأسترالية الأصغر حجمًا فتحفر بحثًا عن الفرائس مثل حيوانات الغُرَيْرِ الثديية الخاصة بالقارَّات الأكبر. وعلى النقيض، فمعظم الثدييات الأسترالية نباتية.

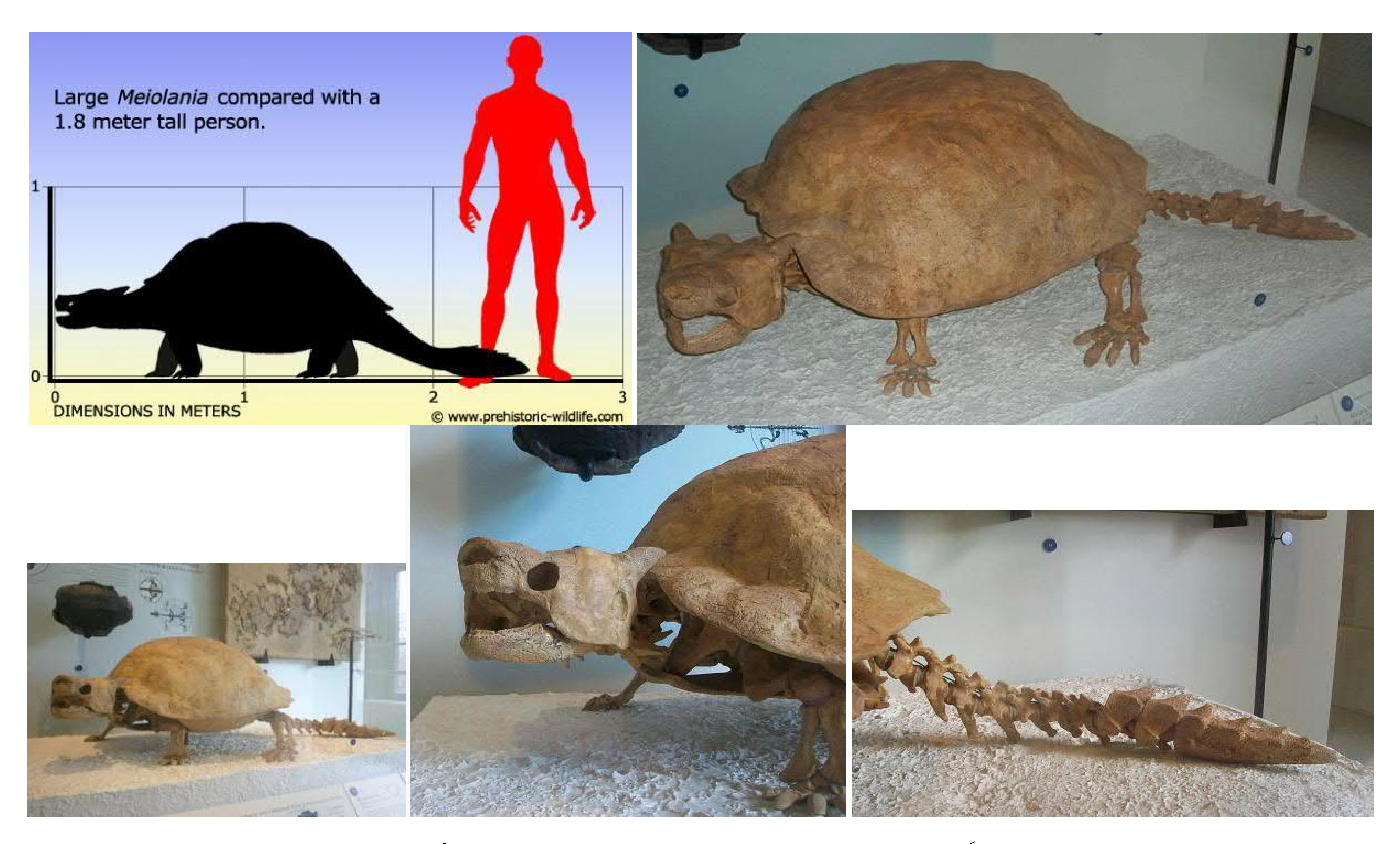
تضمَّنَتْ الزواحف الأسترالية المنقرضة سلاحف برية ضخمة قرناء Meiolania [نترجمها إلى السلحفاة البرية الضخمة] ثاني أضخم أنواع السلاحف البرية الضخمة المعروفة التي عاشت على كوكب الأرض على الإطلاق، والتي وصل وزنها إلى ٢٠٠ كجم (٤٥٠ رطلًا)[1]، وسحلية طولها ٧ أمتار (٢٣ قدمًا) والتي كان وزنها حوالي طن، وتنافست مع التماسيح البريَّة الكبيرة المنقرضة ذوات نفس الحجم والوزن. وكان طول الثعبان الضخم ونامبي Wonambi [الاسم مأخوذ من اسم ثعبان ضخم في أساطير السكان الأصليين] ٦ أمتار (١٩ قدمًا) ولا بد أنه وزَنَ ١٠٠ كجم (٢٢٠ رطلًا). وتضمنت الطيورُ الأستراليةُ المنقرضةُ Dromornis [الطائر الضخم السريع كالرعد]، وهو أثقل طير مما قد تطوَّر على مر الزمن (راجع الفصل ١٣).



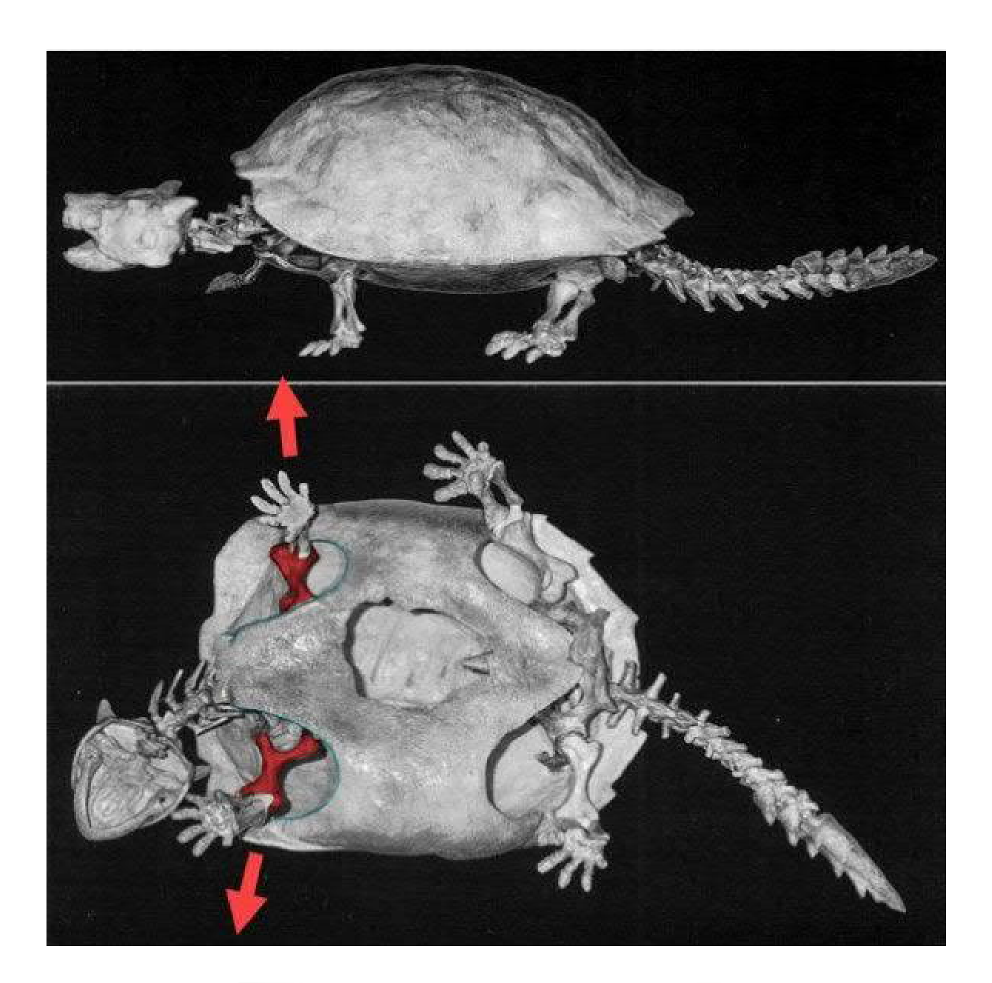




[1] حيث أن أضخم السلاحف البريةالمعروفة حجماً لنا حاليًا هي السلحفاة الآسيوية المنقرضة العملاقة Megalochelys atlas، ولها عينة متحجرة في المتحف الأمِركي للتاريخ الطبيعي.



الصورة ١٨– ١ Meiolania، سلحفاة برية ضخمة جدًا ذات قرون وذيل شبيه بالهراوة، كان طولها حوالي مترين (٦ أقدام)، عثر على متحجرتها في جزيرة اللورد هاو Lord Howe Island، المقابلة للشاطئ الشرقي لأستراليا. إعادات بناء، ومتحجرات من المتحف الأمِركي للتاريخ الطبيعي.

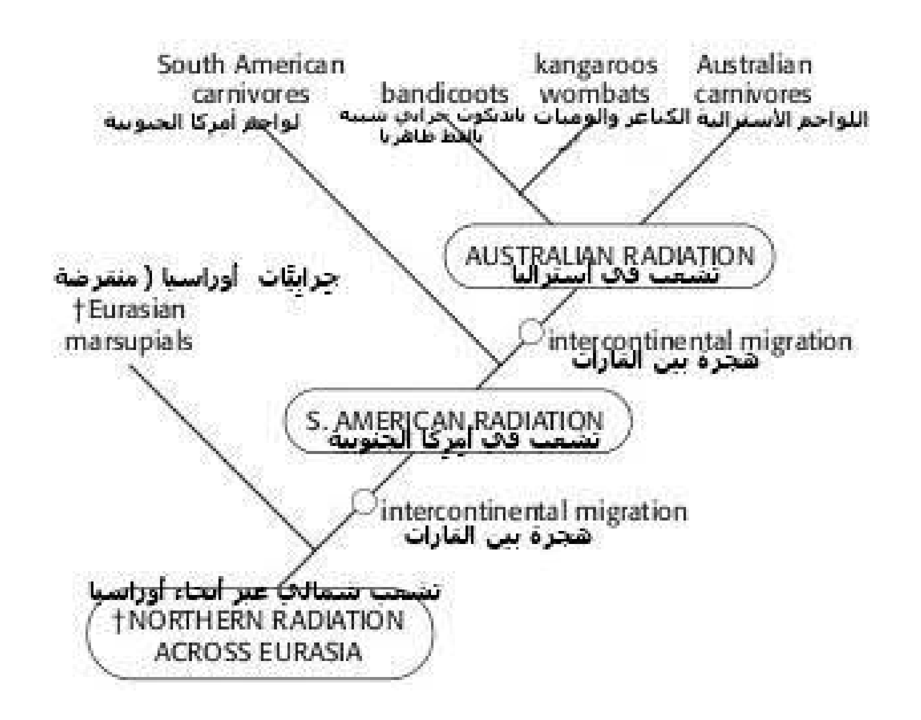




عينة رأس Meiolania من المتحف الأسترالي

وأستراليا القارة الوحيدة التي فيها ثدييات وحيدة المخرج الإخراجي [أوليَّة] حية. إنها تعيش في أستراليا منذ العصر الطباشيري المبكر (راجع الفصل ١٥)، وفقط في العصر الطباشيري المبكر تُظْهِر متحجراتُ أسنان الثدييات الوحيدة المخرج من الأرجنتين أنها تنوَّعت قديمًا على نحوٍ أوسع فوق قارَّة جُنْدُوانا العتيقة. إن الثدييات الوحيدة المخرج الباقية حية هي ثدييات واضعة للبيض، وتتضمن البلاتيبُس platypus [مسطح القدمين الغشائيتين، خلد الماء] ذا الفم الشبيه بمنقار البطة وآكل النمل ذا الأشواك echidna الخاص بأستراليا ونيوزيلاند. الكثير من المناحي أو السمات البيولجية للثدييات الوحيدة المخرج عجيبة؛ كمثالٍ، يسبح البلاتيبُس في المياه الموحلة بينما تكون عيناه وأذناه ومنخاري أنفه مغلقِينَ بإحكامٍ، باحثًا عن فرائسه من القشريَّات بمُسْتَشْعِراتٍ في منقاره. وبما أن الثدييات الوحيدة المخرج قد تطورت لتتضمن البلاتيبُس وآكل النمو الشوكي المتخصصين، فإنه يُرَجَّحُ أن سجل متحجراتها سَيُرينا في آخر الأمر الكثير من المفاجآت الأخرى.

لقد نشأت وتطورت الثدييات الجِرَابِيَّة في الأصل في القارّات الشمالية، لكنْ كما سنرى لاحقًا في هذا الفصل فإنها وصلت إلى أمِرِكا الجنوبية وتشعَّبَتْ هناك في دهر الحياة الحديثة. لقد عُثِرَ على متحجرات للجِرابِيَّات حاليًّا في صخور عصر الإيوسين [فجر دهر الحياة الحديثة] في القطب الجنوبي وأستراليا، لذلك يُرَجَّحُ أنها وصلت إلى أستراليا من أمِرِكا الجنوبية عَبْرَ القطب الجنوبي عندما كان منطقةً أدفأ بكثير مما هو عليه الآن، قبل إعادة تجمد القطب الجنوبي في عصر الأُلِجوسين (الشكل ١٨– ٢).



الشكل ١٨– ٢ التطور الجغرافي الحيوي للجِرابِيَّات. حدث تشعب مبكر في العصر الطباشيري المبكر في آسيا وأمِرِكا الشمالية تلاه تشعب لاحق في العصر الطباشيري المتأخر وفي دهر الحياة الحديثة في أمِرِكا الجنوبية، وانتشار عَبْرَ القطب الجنوبي إلى أستراليا، حيث حدث تشعب رائع مثير.

بحلول دهر الحياة الحديثة، كانت الثدييات الجِرابية قد تطورت لتَشْغَل معظمَ الأدوار الإيكولُجِيَّة [الاعتياشية] في أستراليا والتي تقوم بها ثدييات مشيمية في القارات الأخرى (الصورة ١٨– ٣). حيوانات الوَلَبي أو الوَلَب [الكنيغرات] والكناغر مرتَعُون على الحشائش مشابهون في الدور الوظيفي للظباء والأيائل، أما حيوانات الوُمْبَاتْ [أو الوُمْبَتْ] فهم "قوارض" مرتعون على الأوراق والغصينات والفواكه شبيهون بحيوانات الكسلان وشبيهون بالدب شكلًا. ويشبه الكسكس cuscus االجرابيُ [نوع من الأبوسومات الأسترالية] الليمورَ [الهبّار المدغشقري]، والنُمبات numbat آكلُ نملٍ جِرابِيّ. وهناك "قطط" وحيوانات "خُلد" و"فئران" جِرابِيَّة، وستة أنواع متزلّقة جِرابيّة يمكن مقارنتها بالسناجب الطائرة. إن بوسوم أو أبوسوم الرحيق القاطن لغابات جنوبي غرب أستراليا الغربية (Tarsipesis or Tarsipes rostratus) honey possum or noolbenger هو الثديي الغير طائر الوحيد الذي يعيش بالكامل على الرحيق وحُبَيْبات اللقاح، التي يجمعها بلسانه المكسو بزوائد شبيهة بالفرو. لقد تطور في الجرابي الصغير الحجم التريوك طويل الإصبع (long fingered triok أو Dactylopsila palpator [ذي الأصابع العارية من اللحم نوع الطويل الإصبع أو السابر بإصبعه] الخاص بنيوجينيا أسنان متخصصة وإصبع طويل جدًّا ليصبحَ نقارَ خشبٍ جِرابيًّا (راجع الفصل ١٧). إن الذئب التازماني والشيطان التازماني هما لاحمان [مفترِسان] جِرابِيَّان يمكن مقارنتهما في الحجم وطريقة الاعتياش مع الذئب والوولفَّرين [نوع من فصيلة العرسيات، ابن عرس الشبيه بذئب صغير]. إن شيطان تازمانيا مقتصر الوجود حاليًّا على تازمانيا، أما الذئب التازماني فقد انقرض على الأرجح.



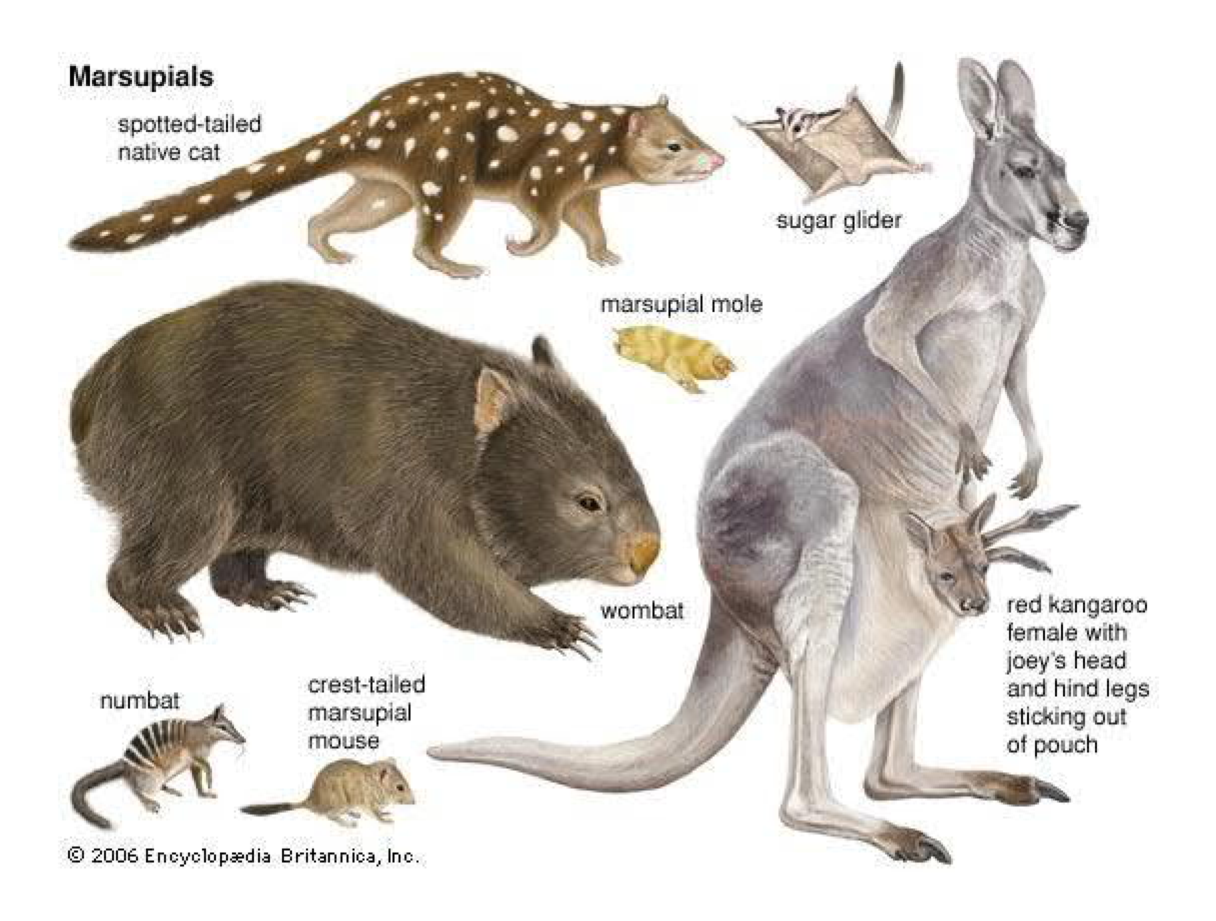
الكسكس cuscus االجرابيُّ [نوع من الأبوسومات الأسترالية] الليمورَ [الهبّار المدغشقري]



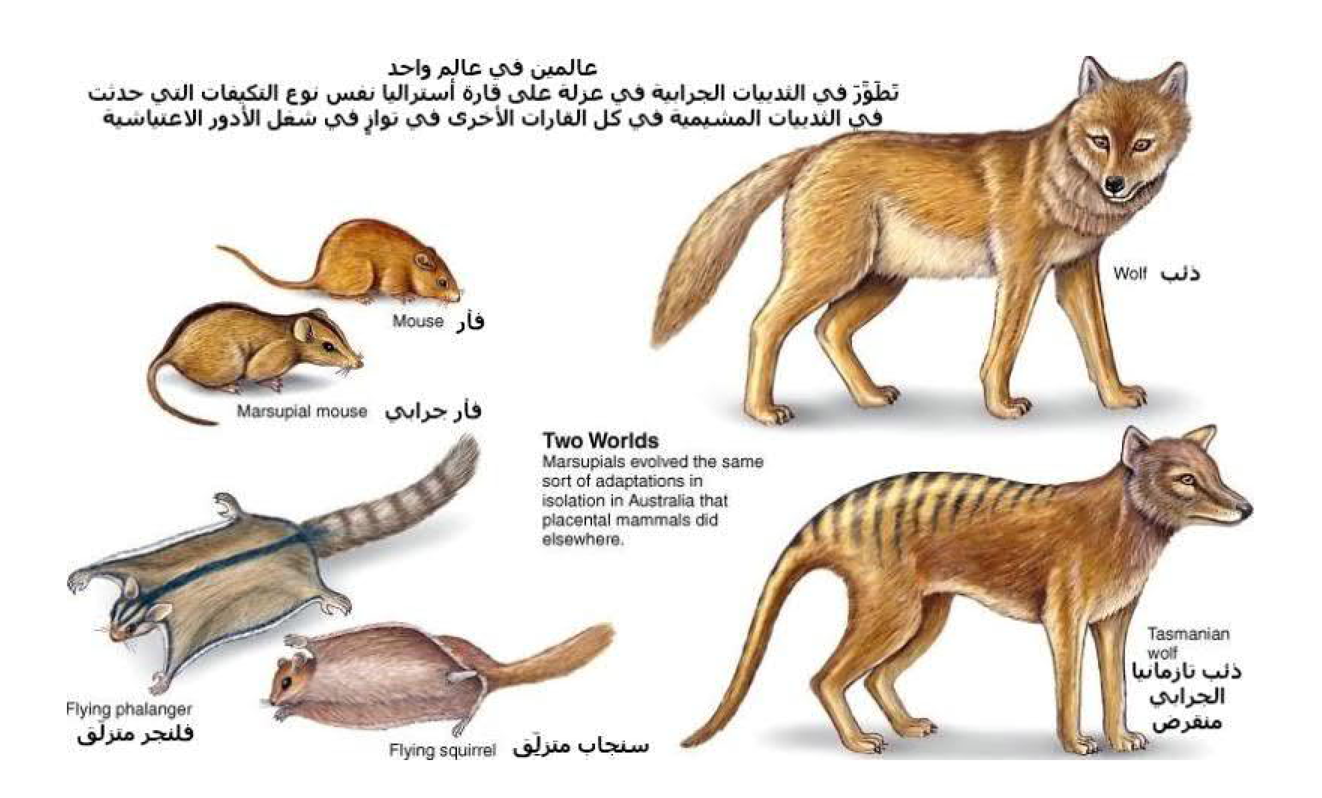
النُمبات numbat آكلُ نملٍ جِرابِيّ (الصور العليا) مشابه لآكل النمل المشيمي الحقيقي (الصور الأسفل)



أبوسوم الرحيق honey possum or noolbenger



إن سجل متحجرات الجِرَابِيَّات الأسترالية المنقرِضة أكثر إثارةً للإعجاب. توجد فصائل من الجِرابِيات منقرضة بكاملها في العصر الحالي. كان الكثير منها كبار الأحجام جدًّا، بما في ذلك كناغر وحيوانات ومبات ضخام والذين كان وزن كل واحد منهم ٢٠٠ كجم (٤٥٠ رطلًا) أو نحو ذلك. كان الثَّيْلاكوليو Thylacoleo لاحمًا جرابيًّا من عصر البلِيستوسين Pleistocene والذي يعني اسمه "الأسد" الجِرابِيُّ. لقد كان في الحقيقة في حجم النم، وكان له أسنان طاعنة سيفية الشكل وأسنان ممزِّقة كفؤة. لقد كان أفضل تكيفًا لقطع هُبَرٍ [قطع غليظة] من اللحم عن أي لاحم حي معاصر (الصورة ١٨– ٤). كانت بعض الأنواع المنقرضة التي عاشت في عصر البليستوسين من فصيلة ثنائيات الأسنان الأمامية أو ذوات السنين الأماميين السفليين الطويلين Diprotodonts جرابيات سائرة على أربع بحجم التابيرات والخراتيت[1] (الشكل ١٨– ٥). لقد كانوا أكبر الجرابيات حجمًا على الإطلاق؛ فأكبر ذي سنين أماميين سفليين طويلين [وهو النوع Diprotodon optatum] كان بحجم الفيل الصغير، بطول ٣ أمتار تقريبًا (١٠ أقدام) ومترين (أكثر من ٦ أقدام) ارتفاعًا عند الكتفين، وبوزنٍ يقارب الثلاثة أطنان على الأرجح. سوف تسمح الاكتشافات الجديدة لأعداد هائلة من خفافيش وجِرابِيَّات عصر المَيُوسين في Riversleigh رِفِّرْسلِيِيْ في Queensland كوينزلاند في أستراليا بوصف أفضل لتشعُّبِ تلك الثدييَّات الأستراليّة.



[1] Diprotodont ثنائيات الأسنان الأمامية أو ذوات السنين الأماميين السفليين الطويلين، والتي تميزت بسنين من القواطع المنبطحة في الفك السفلي وثلاثة أزواج من القواطع في الفك العلوي، رتبة ذوات الثنيتين السفليتين (الديبروتودونتيا Diprotodontia باليونانية διπρωτός : ديبروتوس diprotos ، تعني "اثنتان أماميتان" و οδοντος وتعني أدونتوس odontos الأسنان) هي رُتبة كبيرة تتألف من حوالي ١٢٠ من الثدييات الجرابية، بما في ذلك حيوانات الكنغر وحيوانات الولب والبوسوم والكوالا والومبت)حَيَوان أُسْتُرالي مِنْ ذَوَات الْجِرَاب يُشْبِه الدُّبّ) وغيرها الكثير. تشمل حيوانات ذوات الثنيتين السفليتين (diprotodonts) المنقرضة ذا الثنيتين السفليتين الذي يبلغ حجمه حجم الكركدن(وحيد القرن وأسد الثيَ`لاكوليو الذي يُعرف باسم "الأسد الجرابي". الخصائص: كانت معظم ذوات الثنيتين السفليتين حيوانات عاشبة. هناك عددٌ قليلٌ من آكلي الحشرات وآكلي النبات والحيوان أي القارِتِين، ولكن يبدو أنهم نشأوا كتكيفٍ حديث ٍ نسبيًا عن نمط الحياة العاشبة السائد. تُعد الأسود الجرابية آكلة اللحوم thylacoleonids المنقرضة هي المجموعة الوحيدة المعروفة بتقدمها أكلة اللحوم على نطاقٍ واسع.





أستراليا	قارات العالم الأخرى
الكناغر [الكانجاروهات]	الظباء والأيائل
حيوانات الوَلَبِي [أو الوَلَبْ] wallabies	الأرانب
حيوانات الوُمْبات wombats	حيوانات المرموط marmots
حيوانات الفلنجر phalangers	السناجب المتزلّقة
حيوانات الكوالا	حيوانات الكسلان
"الفأر" الجرابي	القطط وأبناء عرس
"الخلد" الجرابي	الخلد
النُمْبات numbats	آكل النمل
شيطان تازمانيا الجرابي	الوولفَرين wolverine [من العرسيّات]
†diprotodonts ذوات السنين الأماميين الطويلين	الخراتيت والتابيرات
† "الأسد" الجرابي [الثَيْلاكوليو]	القططيَّات الكبيرة
† "الذئب" التازماني	الكلبيَّات

الشكل ١٨– ٣ سردٌ لثدييات جِرابِيَّة أسترالية، كلٌّ منها له نظير أو نظائر إيكولُجية من المشيميَّات في القارَّات الأخرى.











الشكل ١٨- ٤ الثَّيْلاكوليو Thylacoleo [الأسد الجِرابِي]، وهو جرابيّ لاحم أسترالي منقرض بحجم النمر.



الشكل ١٨- ٥ أحد أنواع ذوات السنين الأماميين الطويلين A diprotodont، وهو أحد أنواع الجرابيات السائرة على أربع المنقرضة العديدة في أستراليا. وصل وزن بعض أنواع ذوات السنين الأماميين الطويلين إلى ٣ أطنان. وكان لـ Diprotodon optatum من ذوي السنين الأماميتين الطويلتين حجم فيل صغير

كثيرًا ما يتصوَّر الناسُ الثدييَّاتِ الجِرابِيّة على أنها بدائية وأدنى من المشيميَّاتِ، وإنه صحيحٌ أن المشيميَّات تفوَّقَت عليها للغاية في العصر الحالي في التنوع والانتشار. لكن ليست تكيفات الجِرابيَّات أدنى دائمًا (راجع الفصل ١٥). كمثال، فإن الكنغر [الكانجارو] ثقيل الحركة حقًّا عندما يقفز ببطء متجوِّلًا هنا وهناك على الأرض، مستعمِلًا ذيلَه كطرفٍ إضافيٍّ فيما هو في الحقيقة حركةُ قدمٍ خامسةٍ. إنه بالفعل يستعمل طاقة أكثر مما يستهلك حيوان مشيمي عند تلك السرعة. لكنْ عند السرعة العالية فإن الكنغر ليس سريعًا جدًّا فحسب (يصل إلى ٦٠ كم في الساعة، أيْ ما يعادل ٤٠ ميلًا في الساعة)، بل وإن قفزاته الطويلة على نحوٍ لا يُصدَّق أكثر فاعليةً بكثير من الخطوات الواسعة الخاصة براكضٍ على أربعٍ له نفس الوزن.

لقد كان من المفاجئ اكتشافُ أنَّ ثدييًّا مشيميًّا بدائيًّا غامضًا كان قد وصل أيضًا إلى أستراليا في عصر الإيوسين. لا بد أن Tingamarra [التينْجاماريّ، نسبة إلى تينجامارا موقع اكتشافه قرب Murgon في جنوبي شرق كوينزلاند] أو أسلافه قد مشَوْا أيضًا من خلال القطب الجنوبي ليصلوا إلى أستراليا، ليخلِّف أحدُ أفرادِهِ متحجرةَ ضرسٍ علويٍّ أيمنَ في جدول ماء راكد خلفي متفرع عن نهر في جنوبيِّ شرقِ كوينْزْلانْدْ Queensland، لكن هذا هو الدليل الوحيد الذي نملكه حاليًّا. يبرهن ضرسُ Tingamarra لنا على أن الجِرابِيَّات لم تصِر مهيمِنةً على مجموعات الحياة الحيوانيّة الثدييّة في أستريليا لأنها كانت معزولةً عن التنافس من جانب المشيميّات هناك.

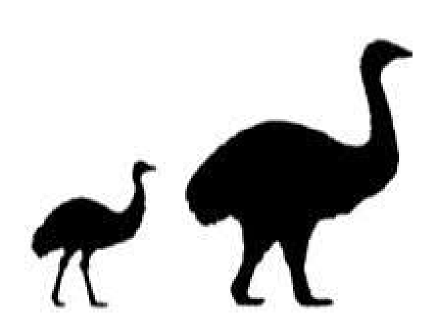
كانت طيور الدرومورنيثيَّات Dromornithids (بمعنى الطيور الراكضة، وتسمَّى كذلك باسم mihirungs، حيث أن mihirung اسم طائر إيمو ضخم أشير إليه في أسطورة خاصة بسكان أستراليا الأصليين في غربي فِكْتوريا) طيورًا ضخمة منقرضة أسترالية والتي لا بد أنها تَطَوَّر فيها عدم القدرة على الطيران وحجم الجسد الكبير (الصورة ١٨- ٦). كان Dromornis على الأرجح بنفس حجم Aepyornis [الطير العالي القامة] أو الطير الفيلي المدغشقري، وهو ينافسه على لقب أضخم طير في كل الزمن. أما الإيمو والشبنم cassowary فهما طيران راكضان قاطنان للأرض من رتبة مسطَّحات الصدر ratites. تنتشر مسطَّحاتُ الصدرِ في القارَّات الجنوبيّة التي هي شظايا قارة جُنْدُوانا (راجع الشكل ١٣- ٢٣).

أدَّى الموقع المنعزل لأستراليا إلى أن الطيور والثدييات المشيمية المسافرة إلى أماكن بعيدة (الخفافيش والبشر في حالة المشيميَّات) هي فقط التي وصلت إليها. جلب البشرُ معهم حشدًا من المجتاحين الآخَرين، مثل القطط والكلاب والخراف والمواشي والأرانب والصبّار [بما فيه التين الشوكي] وعلجوم القصب[1] وأسماكًا، مما كان له عواقب خطيرة على النظام الإيكولُجي [البيئي الاعتياشي] الأسترالي. لقد كان أول رد فعل للقبطان أو الكابتن كُكْ Captain Cook[2] عند رؤيته كنغرًا هو إطلاق كلبه عليه! في وقت حديث أكثر قربًا، ساعدَتْ مجلوباتٌ أخرى عجيبة على تعويض بعض التضرُّرِ؛ كمثالٍ، الفَيْرَس الذي يسبب مرض الأرانب الداجنة الأورُبِيَّة المسمَّى بمرض الورم المخاطي أو الهلامي[3]، والخنافس آكلة الرَوَثِ التي تقي الأراضي المعشوشبة الأسترالية من أن تُدْفَنَ تحتَ روثِ الماشية. إن قصة الجغرافيا الحيوية [البيولُجِيَّة] الخاصة بأستراليا لا تزال في مرحلة نشطة.

نيوزيلاند

كانت نيوزيلاند جزءًا من قارَّةِ جُنْدُوانا العتيقة حتى العصر الطباشيري، وكان لها حياة حيوانية عاديَّة في ذلك الزمن. لكنْ لم يكن لها أي ثدييّات برِّيَّة حتى وصول البشر، ويوحي باقي تاريخ حياتها الحيوانية الخاص بما قبل التاريخ أن الهجرة إلى ذلك الإقليم كانت صعبةً. تتضمن أنواعُ الحياة الحيوانية المتوطِّنة أربعة أنواع فقط من البرمائيات، وهي ضفادع بدائية يفقس بيضها عن صغار عبارة عن نسخ مصغَّرَة من البالغين بدون مرحلة السرغوف [فرخ الضفدع]. وهناك أنواع متوطِّنة قليلة فقط من الزواحف: ١١ نوعًا من الأبراص [الوَزَغ] كلها تلد إناثها ولادةً، و١٨ نوعًا من سحالي السَّقَنْقُور skinks، تلد إناث ١٧ نوعًا منها ولادةً، والتِوَتارة [الطِواطرة] والتي هي زاحف قديم وبدائي. وليس في نيوزيلاند ثعابين ولا سحالٍ عاديَّة. والثدييّات المتوطِّنة الوحيدة هي نوعان من الخفافيش.

كانت الكائنات المهيمِنة في ما قبل التاريخ في نيوزيلاند هي الطيور. لقد بقيت طيور الكيوي على قيد الحياة كآكلة حشرات معتاشة ليلًا، لكنْ كانت الطيور العواشب الكبيرة الأحجام هي طيور المُوا المنقرضة، والتي كانت طيورًا ضخمة جدًّا من فصيلة مسطَّحات الصدر ratites. كان طول أكبر مُوا (وكانت الإناث أكبر حجمًا بكثير من الذكور) ٣,٥ متر (١١ قدمًا) ارتفاعًا (الشكل ١٣– ٢٣).



الشكل ١٨– ٦ dromornithid [طائر راكض ضخم] أو mihirung، وهو طير ضخم منقرض من استراليا، يَظهَر في الصورة مع إيمو لأجل القياس.

تطورت طيور المُوا تطورًا مشترَكًا مع نباتات نيوزيلاند بحيث أن ١٠% من النباتات الخشبية المتوطِّنة لها نمطُ تفرُّعٍ خصوصي يُدعى بالتفرُّع المتباعد أو المُبْتَعِد أو المرتفِع divarication، فهي تتفرَّع عند زاوية عالية لِتُكَوِّنَ نباتًا ناميًا بكثافة عالية بأغصان متشابكة بحيث يَصْعُبُ انتزاعُها أو كسرُها. توجد بها أوراق قليلة على الجانب الخارجي، بينما تكون الأوراق الأكبر والأكثر عصارة وطراوة وأنسجةً على الجانب الداخلي. لكنَّ تسعة أنواع من النباتات المتباعدة التفرُّعِ التي تنمو إلى أكثر من طول ٣ أمتار (١٠ أقدامٍ) تبدو أشبهَ بالأشجار العاديّة حالما تصل إلى ذلك الطول، وتنمو أنواعٌ متباعدة التفرُّعِ

[1] علجوم القصب cane toad: علجوم القصب أو علجوم مارينوس ،يعرف أيضا باسم العلجوم العملاق أو العلجوم البحري اسم أطلقه الأستراليون على العلجوم البحري العملاق الذي يعيش في بحار أمريكا الوسطى وأمريكا الجنوبية. بعد نجاح واضح من علجوم القصب في قتل الخنافس التي كانت تتلف محصولات قصب السكر في بورتو ريكو والبدايات الناجحة أثناء جلبه إلى هاواي والفلبين، جاءت فكرة إدخالها أستراليا لتدمير الآفات التي تعصف حقول قصب السكر في ولاية كوينزلاند فأصبح علجوم القصب أحد أنوع البرمائيات التي استجلبت إلى حقول قصب السكر شمالي كوينزلاند في أستراليا عام ١٩٣٥م بهدف مكافحة آفات الخنافس وبعض الآفات الزراعية الأخرى. ولكن مع مرور الأيام أصبح علجوم القصب هو نفسه نوعا مجتاحا أدى إلى آفة خطرة منذ عام ١٩٣٥م. فقد أخذت العلاجيم تنشر سمومها لقتل كثير من الحشرات الأخرى والأسماك الصغيرة والبرمائيات والطيور التي تبني أعشاشها على الأرض، وكذلك الثدييات الصغيرة، وقد ماتت الكثير من الثعابين التي أكلت علجوم القصب متأثرة بسمها.

[2] جيمس كوك أو القبطان كوك (بالإنجليزية: James Cook) (٢٧ أكتوبر ١٧٢٨ - ١٤ فبراير ١٧٧٩) كان بحارًا ومستكشفًا إنلجزيـ ًـا، يعد أحد أهم المستكشفين الأوروبيين في عصر التوسع الاستعماري، قام بثلاث رحلات في المحيط الهادئ، ورسم الكثير من الخرائط لهذه المنطقة وقام بالعديد من الأكتشافات مثل اكتشاف الساحل الشرقي لأستراليا وجزر هاواي ونيوزيلندا. لم تكن أوروبا حتى منتصف القرن الثامن عشر تَعْلَم سوى النذر اليسير عن جنوب المحيط الهادي. وكان الكثير من الناس يعتقدون بوجود كتلة ضخمة من اليابسة هناك، متمثلة في القارّة الجنوبية.وفي عام١٧٦٨، انطلق الملاَّح والمستكشف الإنجليزي القبطان جيمس كوك مُبحراً من أجل معرفة المزيد عن هذه القارة الأسطورية، وقد رافقة العلماء والفنانون في رحلاته الثلاث. وقد رسمَ كوك خريطة تضمّ مناطق شاسعة من المحيط الهادي؛ كما اكتشف العديد من الجُزر وعاد إلى وطنة وفي جعبته معلومات تفصيلية حول الأماكن التي زارها.

[3] فَيرَس الورم المخاطي الجلدي: وض قاتل للأرانب الأوربيُ ـّة يتشخَّص بحدوث أورام مخاطية في الجلد وخاصةً حول فتحات الجسم، وهو سريع انتشار العدوى عن طريق البعوض والحشرات والتلامس المباشرُوبا الأرانب البرية فمقاومة له، ولا يسبـ ّـبِ لأرانب الغابات المعتاشة في البرازيل وأورجواي سوى تضررُاً موضعيـ ًـا. وقد استفحل تكاثر مجلوبات الإنسان إلى أستراليا كالأرانب والتين الشوكي حتى أضرت بباقي الكائنات الحيـ ّـة المتوطِّنة الأسترالية وأخلَّتْ بتوازن البيئة.

أخرى على نحوٍ أكثرَ طبيعيةً على جُزُرٍ صغيرةٍ بعيدة عن الشاطئ. إن التفسير المعقول الوحيد للتفرُّع المتباعد أو المرتفع هو أنه تَطَوَّرَ كدِفاعٍ ضد طيور المُوَا المرتعية على الغصينات والأوراق والحشائش، والتي كان طول أكبرها يتراوح ما بين ٣ أمتار و٣,٥ متر.

مجالات الاعتياش الأخرى على النباتات التي تشغلها الثدييات الصغار الأحجام على الكتل الأرضية الأخرى كانت تشغلها في نيوزيلاند طيور المُوا جزئيًّا وطيورٌ أخرى وتشغلها جزئيًّا حشراتٌ ضخمة غير طائرة؛ وهي خنافس آكلة للبذور والحنطة والفاكهة [سوس] ضخم وحشرات الويتا wetas (جنادب ضخمة) التي أكلت ولا تزال تأكل الأعشاب. ولا يسهُل تحديد المفترِسات الرئيسية فيما قبل التاريخ هناك، لكنها كانت موجودةً. فإن أكبر الطيور النيوزيلندية الباقية حيةً (كالكيوي، كمثالٍ) مُمَوَّهة على نحوٍ جيدٍ، رغم عدم وجود مفترِسين باقين على قيد الحياة يتغذُّون عليهم. لكنَّ تقارير المفترِسات النيوزيلندية المنقرضة تتضمَّنُ أكبرَ بازٍ [صقر قصير الجناحين] تطوَّر على مر الزمن (٣ كجم أو ٧ أرطال وزنًا) ونسرًا ضخمًا منقرضًا كان وزنُهُ حوالَيْ ١٣ كجم (٣٠ رطلًا).



الويتا كلمة نيوزيلندية مأخوذة من لغة السكان الأصليين، وهو اسم يُطلَق على سبعين جنسًا ينتمي لفصيلتين متمايزتين هما Anostostomatidae و Rhaphidophoridae

أمِركا الجنوبية

إن أمِركا الجنوبية بالعديد من الطرق أكثر إثارةً من أستراليا بالنسبة لتطور الثدييات لأننا نعرف تاريخَها بتفصيلٍ أكثرَ. انفصلت أمِركا الجنوبيّة عن أفريقيا في العصر الطباشيري المتأخر (منذ حوالي ٨٠ مليون سنة) لتصير قارة جزيرية (الشكل ١٨– ٧).



الشكل ١٨– ٧ انجرفت قارة أمِركا الجنوبية باتجاه الغرب ثم باتجاه الغرب والشمالي غرب خلال دهر الحياة الحديثة، ولمعظم ذلك الزمن كانت قارة جزيرة لا يصل إليها إلا الكائنات المحظوظة أو المهاجرون لمسافات طويلة.

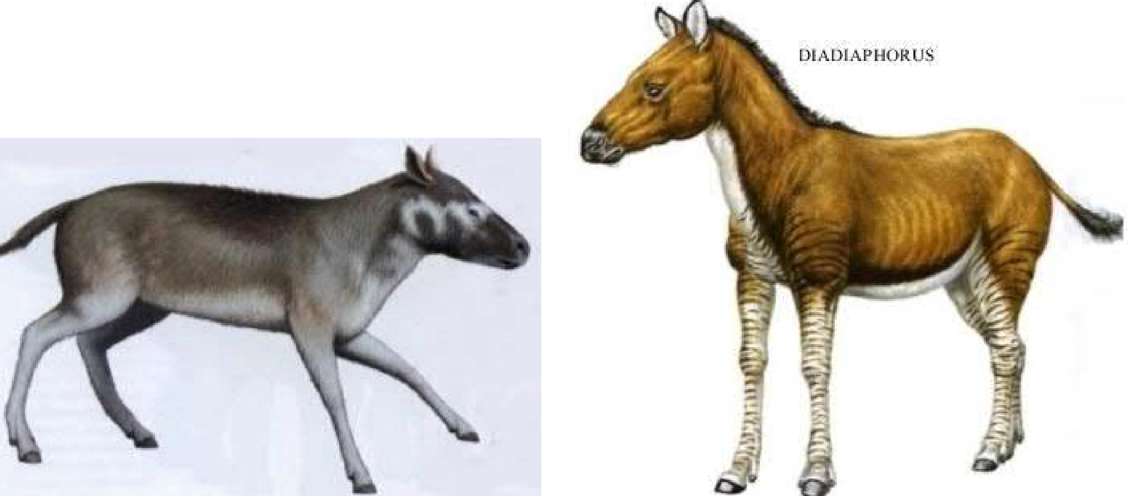
في العصر الطباشيري تضمَّنَتْ الثديياتُ والديناصورات في أمِركا الجنوبية أشكالًا فريدة تنتمي إلى المجموعات البدائية الخاصة بالعصر الجوارسي والتي كانت قد صارت منقرضةً في كل مكان آخر من الكوكب لكنها استمرت في التطور في أمِركا الجنوبيّة. تتضمن الأمثلة الديناصورَ الضخمَ Megaraptor [يعني اسمه الديناصور الضخم]، وهو وتديُّ أسنانٍ [ذو أسنان أمامية (قوادم) وتديّة مثبَّتة في تجاويف عميقة sphenodont] ضخم،

وثدييات مبكرةً. لقد جُمِعَتْ متحجراتٌ للثدييّات ذوات الضروس ذوات الثلاث حدبات أو مخاريط Triconodonts، وذوات الأسنان التي تبدو مثلثية الشكل عند النظر لها من الأعلى والمتميزة بعدم وجود مُخَيْلِب talonid (المخيلب: الشرفة الخلفية في الرحى السفلية) متطور جيدًا symmetrodonts، ومتعددات الحديبات السنية multituberculates كلُّها من صخور العصر الطباشيري في أمِركا الجنوبية، إلا أنه لم تكن توجد بعدُ ثدييات وحشيَّة therians (جِرابِيَّات ومشيميَّات).

حوالي نهاية العصر الطباشيري، وصلت ثدييّات جِرابيّة ومشيميّة نباتية إلى أمِركا الجنوبيّة، ربما من أمركا الشمالية، وقد وفَّرَتْ أمركا الجنوبية على الأرجح مدخلًا وممرًّا لطريقٍ عبْرَ القطبِ الجنوبي للجِرابيّات لكي تصل أستراليا. يبدو أن التغيرات المناخية عند نهاية عصر الإيوسين [فجر الحديث] تزامنت مع وصول مهاجرين قلائل آخرين إضافيين إلى أمِركا الجنوبية؛ وهم قوارض وقرود وسلاحف بريّة وثعابين غير سامة colubrid. أدَّتْ نفسُ التغيُّراتِ المناخيّة إلى انتشار الأراضي المعشوشبة فوق معظم أمِركا الجنوبية، وإلى التوسُّع المبكِّر الانتواعي لمشيميَّات أمِركا الجنوبية إلى طائفة اعتياشية من المرتعيات على حشائش السهول المكشوفة المنبسطة. وبصرف النظر [لو تركنا] هذه الفترات القصيرة من الهجرات، فقد حدث تطور الكائنات الحية في دهر الحياة الحديثة في أمِركا الجنوبية في عزلةٍ لأكثرَ من ٦٠ مليون عام. إن ثدييات أمِركا الجنوبية العجيبة على وجه الخصوص شهيرة جدًّا، وقد تقاسمت الأدوار الإيكولُجِيَّة [الاعتياشية] المتاحة بالطريقة المعتادة. لقد لاحظَ تشارْلِزْ دارْوِنْ متحجراتِ ثدييَّات متميِّزةٍ في الأرجنتين خلال رحلته على متن السفينة بيجِل Beagle، وقد عَثَرَتْ حملات الاستكشاف اللاحقة في الأرجنتين على المئات من متحجرات دهر الحياة الحديثة المحفوظة على نحوٍ بديع.

منذ عصر دهر الحياة الحديثة المبكر، شَغَلَتْ جِرابيَّاتُ أمِركا الجنوبية أدوارَ آكلي الحشرات الصغار الأحجام (ولا تزال تقوم بذلك). وهناك ثدييٌّ جرابيٌّ مائيٌّ حيٌّ معاصرٌ ذو أقدامٍ غشائية وجِرابٍ مانعٍ للماء، وهو أبوسوم الماء المعروف باليِبُكْ Yapok (Water Opossum). وكان Argyrolagus ثدييًا جِرابيًّا بحجم الأرنب والذي بدا مثل فأر ضخم كنغري. لقد كان يقفز على قدميه الخلفيتين وكان له ضروس دائمة النمو للارتعاء على النباتات الخشنة، وكان طوله ٤٠ سم، وكان يشبه العضلان (فأر الرمل، عضل أليان، الجرذ العربي أو الليبي) أو Kultarr المعروف بالجربوع الجرابي. ولم يؤثِّر وصولُ القوارضِ المشيمية بالضرر على هؤلاء الجِرابيّات الصغار الأحجام. إن أحد أكثر الجِرابيّات المعاصرة نجاحًا في العالَم، حتى في وجه المنافسة الشديدة من جانب المشيميَّات، هو الأبوسوم القارت [الآكل للنباتات واللحوم] Didelphis[1] ذو حجم القطة (وتُعرَف أنواعه الستة بالأبوسومات الأمِركية الكبيرة).

لقد تطوَّرَتْ الثدييات المشيميّة المرتعية على الحشائش بحلول عصر المَيُوسين [الحديث الوسيط] إلى تنوعٍ مذهلٍ من الأشكال يتراوح من حجم الخرتيت إلى حجم الأرنب. كان لـ Thoatherium [الحيوان السريع أو النشيط] و Diadiaphorus [السريع أو المُنْجِز] (الصورة ١٨– ٨) [من رتبة litopterns ذوات الأعقاب اللطيفة] تشابه عجيب مع الأحصنة [نتيجةَ تطورٍ متناظر متقارب]، وكانا ذوَيْ وجوه طويلة، وأسنان أمامية وضروس طاحنة وظهور مستقيمة وأرجل نحيلة تنتهي بإصبع واحد أو ثلاثة أصابع، كلها شبيهة بالخاصة بالأحصنة والخيليَّات. وقد بدا بعضُ أقاربِهم التطوريين مثلَ الجِمال. كان للحيوانات النباتية الكبيرة مثل Toxodon [من رتبة ذوات الحوافر الجنوبي أمركية notoungulates، يعني اسمه ذو الأسنان المقوَّسة] ضروس طاحنة كبيرة كانت تنمو طوال معظم حياة الحيوان منهم (الصورة ١٨– ٩).

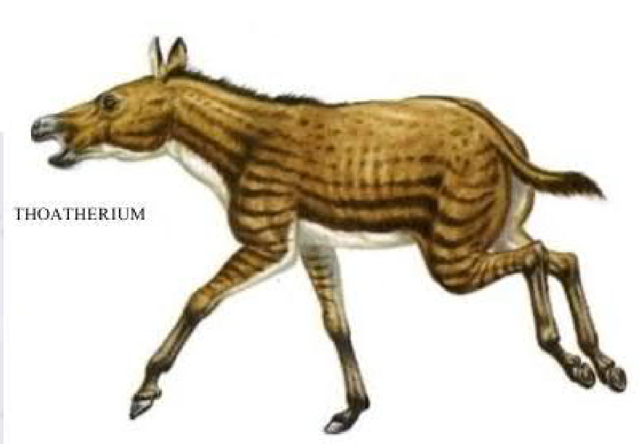


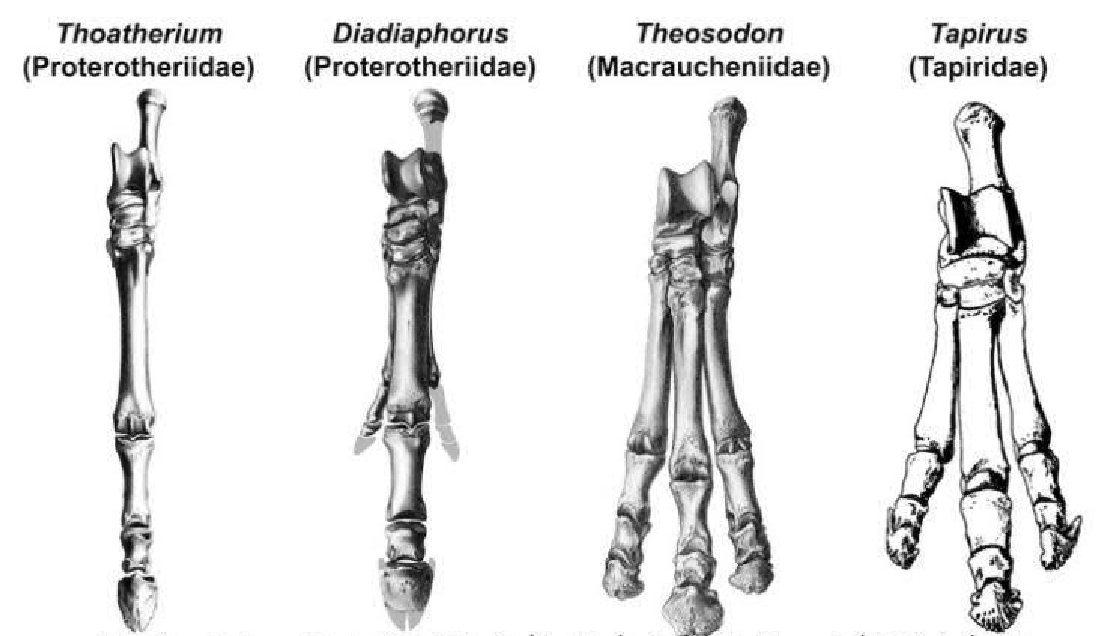


[1] معنى Didelphis أي ذات الرحمين، لأن الإناث فيه لها مهبلان، وللذكور قضيبان أو قضيب مشطور له طرفان، وهي سمة عامة لكل الجرابيات ما عدا ذكور الخلد الجرابي والكنغريات Macropods (وتضم أجناس الكنغر والكنغر الشجري وباديميلون (الاسم العلمي: Thylogale) والكوكا والولب.).



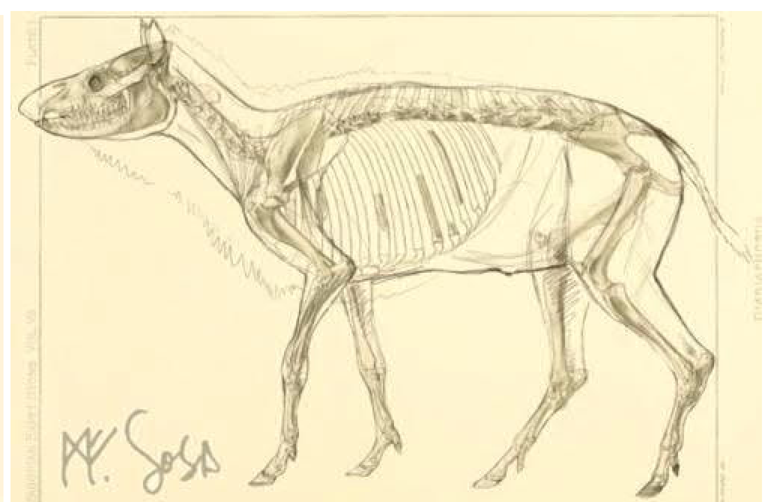




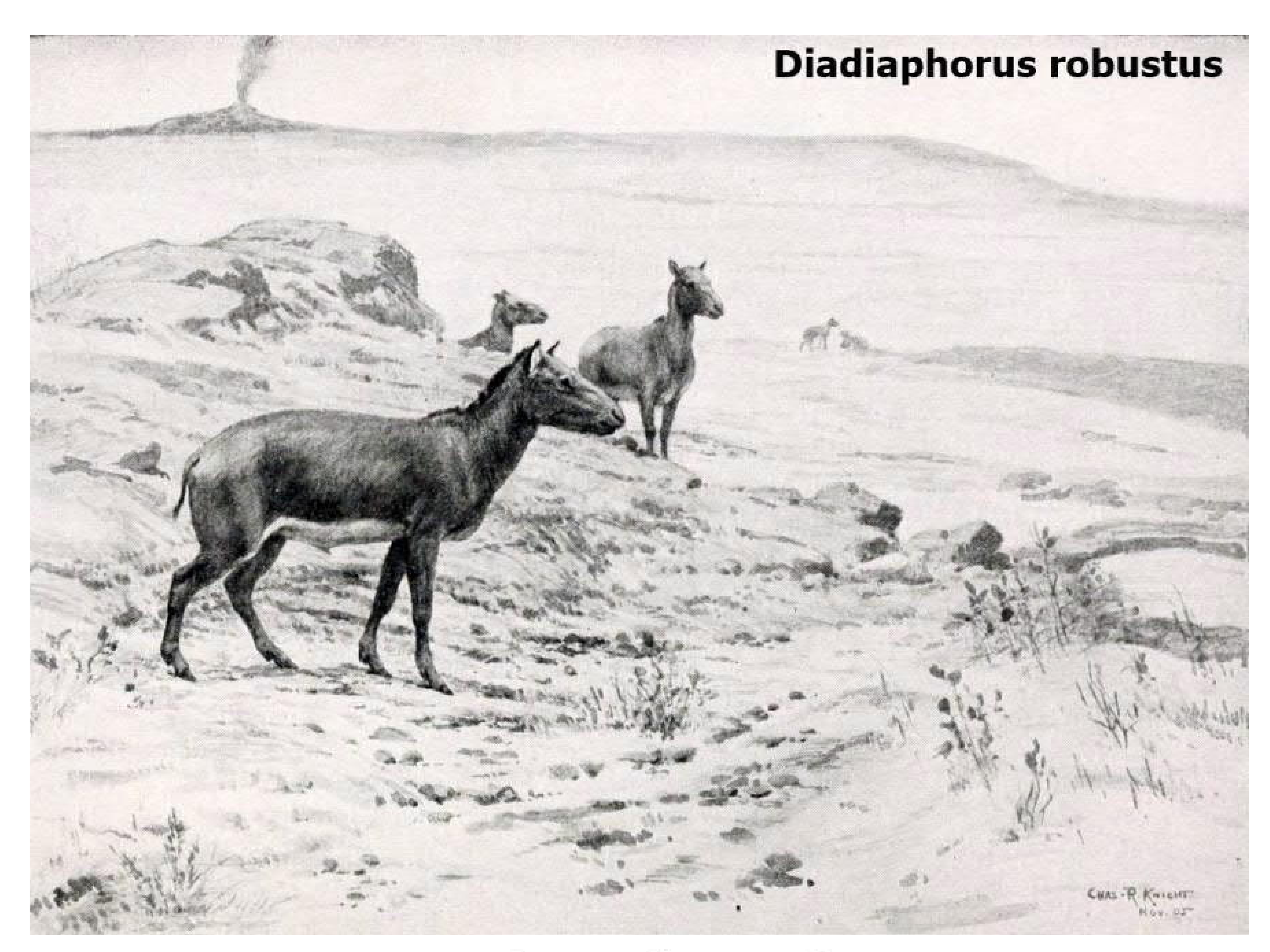


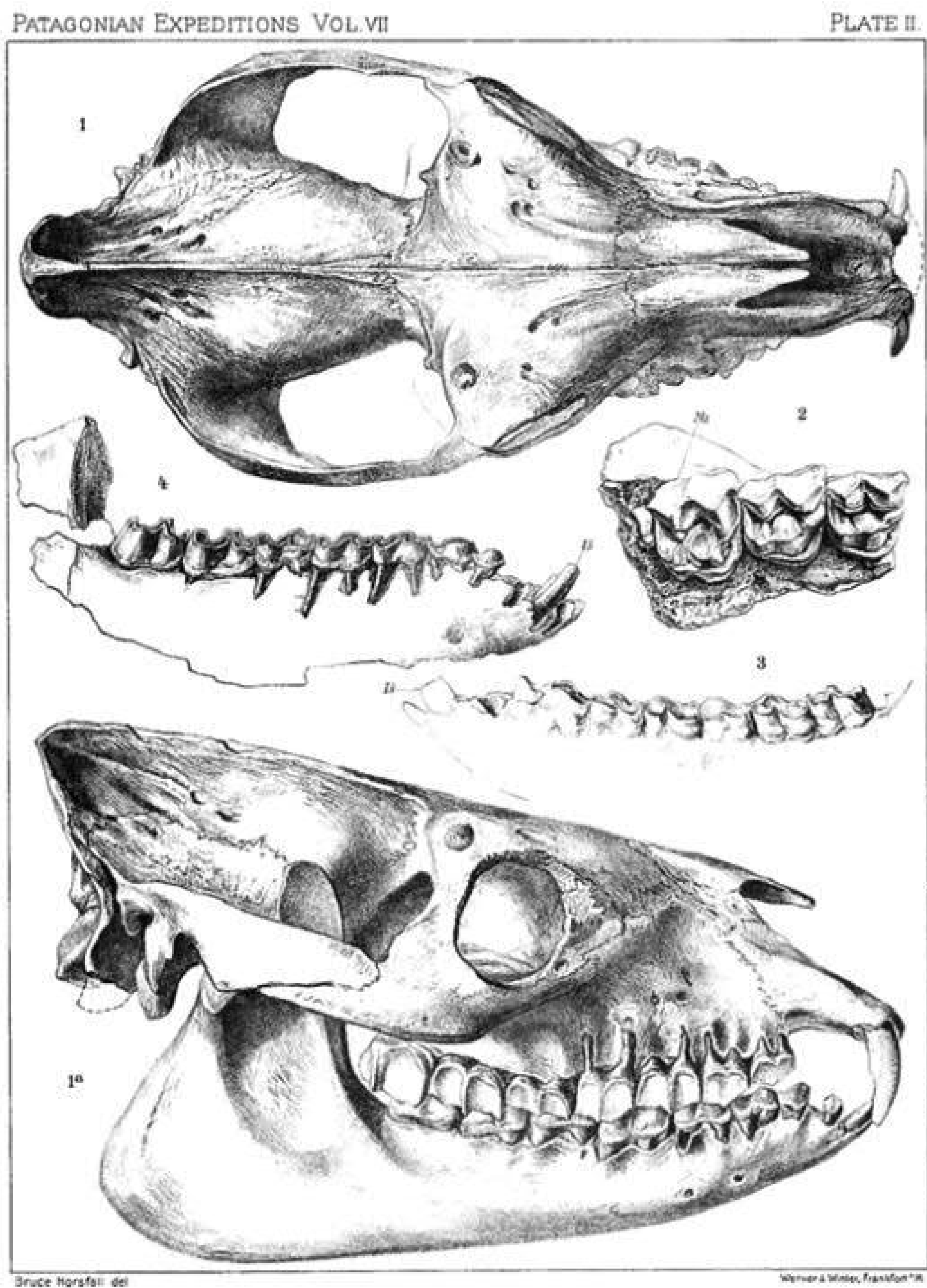






الصورة ١٨– ٨ القدم الخلفية لاثنين من ثدييات دهر الحياة الحديثة من أمِركا الجنوبية، وهما Diadiaphorus و Thoatherium، قارنهما مع الأقدام الخلفية الخاصة بالأحصنة والخيليَّات في الصورة ١٧– ٢. لقد تطوَّرَتْ هذه البُنْيَوات المتشابهة على نحو مذهل بالتناظر والتلاقي في خطين تطوريين منفصلين خاصين بحيوانات راكضة تعيش في الساڤانات. ويُظْهِر الهيكل العظمي الخاص بـ Diadiaphorus (في الصور التي في الآخِر) أن التشابه مع الأحصنة تضمَّنَ كاملَ بِنيةِ الجسد.





DIADIAPHORUS



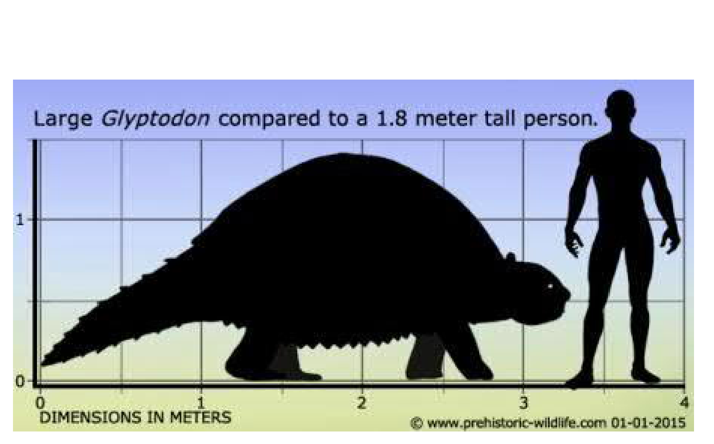






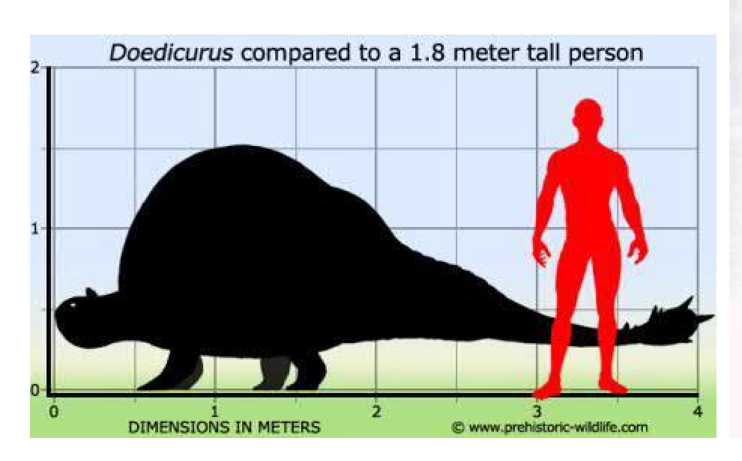
الصورة ١٨– ٩ Toxodon، ثديي نباتي ضخم من دهر الحياة الحديثة في قارة أمِركا الجنوبية.

إن حيوانات المُدرَّع Armadillos والكسلان وآكل النمل أيضًا ثدييات جنوبيُ أمِركِيَّةٍ مميَّزة. لقد تطوَّرَ في المدرع وأقاربه التطوريين درع ثقيل للجيد للحماية وصاروا آكلي حشرات ومتقمّمين انتهازيين ناجحين بدرجة عالية[1]. كان المدرع Glyptodon من عصر البليستوسين [يعني اسمه ذو الأسنان المنحوتة] كبيرًا جدًّا، وعلى الأرجح نباتي، بطول ١,٥ متر (٥ أقدام)، وكان طول بعض أنواعه ٣ أمتار. كان له قلنسوة رأس مدرعة سميكة ودرع للجسد، وبعض أنواع الـ Glyptodon كان لها عقدة أو تكور ذو أشواك عند نهاية الذيل [مثل النوع Doedicrurus ويعني اسمه ذو الذيل الهاون أو الهراوة] (الصورة ١٨– ١٠). كانت الـ Glyptodonts [حيوانات المدرع الضخمة] يقينًا أكبر حجمًا للغاية من أن تحفر جحورًا كمآوٍ مثلما تفعل حيوانات المُدَرَّع أو المُدَيْريع armadillos الحية المعاصرة الأصغر حجمًا، وقد احتاجت أن تكون ثقيلةَ التدرُّعِ ومسلَّحة لكي تبقى على قيد الحياة على سطح اليابسة. ومن الطبيعي أن هياكلها العظمية كانت قويَّة جدًّا لدعم كل وزن الدرع.

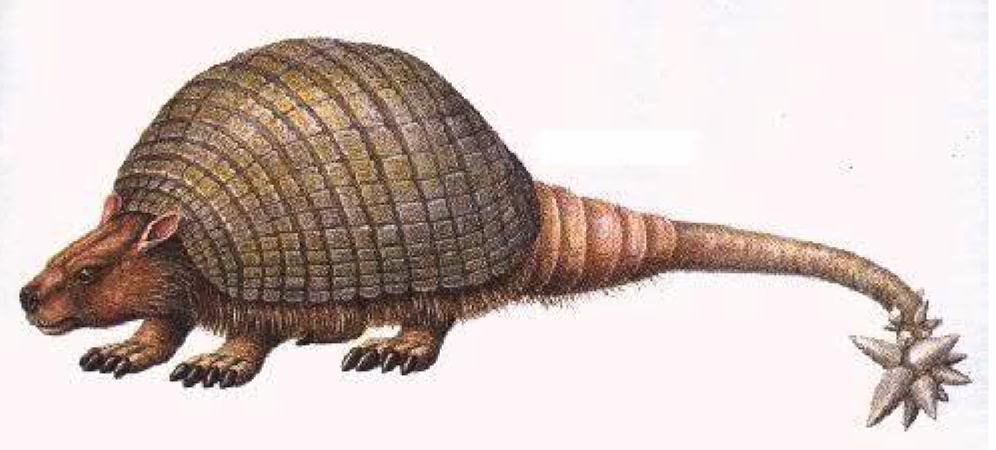




[1] في علم الأحياء (البيولُجي) فإن الكائن المتعضي الانتهازي يُعرَّف في العموم بأنه نوع يستطيع العيش والازدهار في ظروف بيئية متنوعة وتغذية نفسه بعدد من الموارد الغذائية المختلفة أو يستطيع استغلال الظروف المواتية متى ما أتيحت ونشأت، لأنه مرن سلوكيًّا على نحوٍ كافٍ، ويستطيع تأخير التكاثر أو أن يظل في سبات حتى تصير الظروف مناسبة للنمو أو التكاثر.

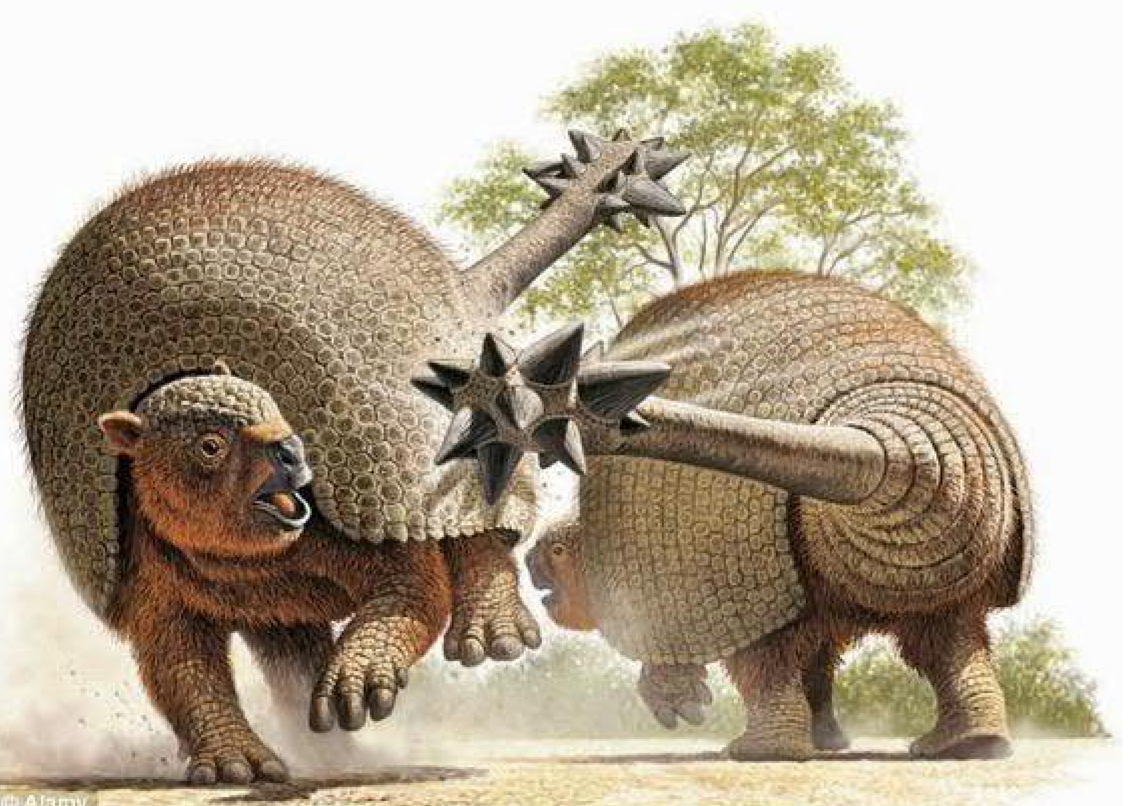


Doedicurus compared to a 1.8 meter tall person
2
1
0
0
1
2
3
4
DIMENSIONS IN METERS
© www.prehistoric-wildlife.com




锤棒槌尾雕兽
Doedicurus clavicaudatus
chenyu 2014


alamy stock photo
www.alamy.com - F02FGT


© Alamy





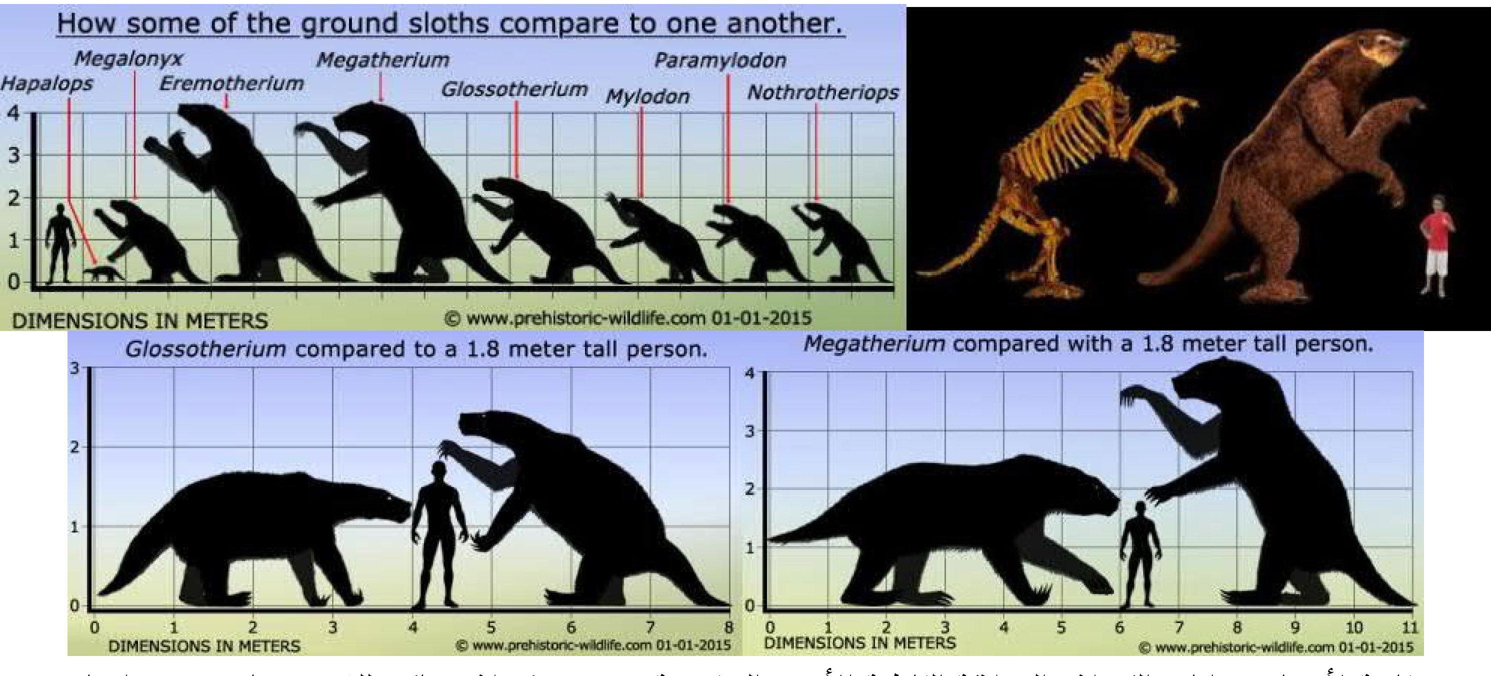






الصورة ١٨– ١٠ كان Glyptodon [ذو الأسنان المنحوتة أو المدرع الضخم المنقرض] حيوانًا ضخمًا مدرعًا بشدة منقرضًا قريبًا تطوريًّا لحيوانات المدرع أو المُدَيْريع armadillos الحية المعاصرة،، كان طول النوع Doedicrurus [ذو الذيل الهراوة أو الهاون] (الصورة اليسرى) يقارب الثلاثة أمتار طولًا (٩ أقدام).

تعيش حيوانات الكسلان في العصر الحالي على الأشجار، آكلةً أوراقَ الأشجار ومتحرِّكةً ببطء شديد مزعج. لكنْ عُثِرَ على بقايا متحجرة لحيوانات كسلان ضخمة قاطنة للأرض في أمِركا الجنوبيَّة، بما فيها نوع لا بد أنه كان بحجم فيلٍ. وتطورت حيوانات آكل النمل من نفس مجموعة الأسلاف لكنها في العصر الحالي متخصصة إلى حد مدهش في أكل الأَرَضَة البيضاء والنمل، بادئةً بتمزيق أعشاشها بطرفين أماميين قويين على نحو مروِّعٍ مزودين بمخالب، وأنف ولسان طويلين.



مقارنة لأحجام حيوانات الكسلان العملاقة القاطنة الأرض المنقرضة مع حجم كسلان ساكن للشجر معاصر ومع إنسان

كانت أكثر الكائنات الحية الأمِركيَّة الجنوبية إثارةً للإعجاب هي اللواحِم [المفترِسات] الأكبر حجمًا. لم يكن أيٌّ منها ثدييَّات مشيميّة، وكان معظمهما جِرابيَّة. هذا ليس مفاجئًا، بالنظر إلى مدة وحشية آكلات الحشرات الجِرابيّة الضئيلة الباقية على قيد الحياة، لكنَّ هذا غيرُ معتادٍ في القارّات الأخرى. كانت Borhyaenids [نترجمها إلى شبيهات الضباع القوية الجِرابية] على نحو جوهري شبيهة بالذئاب، لكنها كانت عمومًا أكبر حجمًا. كان النوع Proborhyaena [يعني اسمه قبل Borhyaena] بحجم دب وكان له على الأرجح طريقة حياة مشابهة. وكان النوع Borhyaena [شبيه الضبع القوي] نفسه الذي منح الاسم للفصيلة جِرابيًّا بحجم الذئب من عصر المَيُوسين ذا أسنانٍ نابيَّةٍ متكيّفة للطعن وضروس تطورت إلى أسنان ممزِّقة للحم (الصورة ١٨– ١١). لقد كان لاحمًا متوسط الحجم ناجحًا، لكنه كان آخر اللواحم الشبيهات الضباع الجرابية borhyaenid الكبيرة الحجم. فقد حل محلهم مشيميات مجتاحة من الشمال وطيور مفترسة ضخمة غير طائرة.



BORHYAENA TUBERATA
(METATHERIA, SPARASSODONTA, BORHYAENIDAE)
LATE OLIGOCENE - EARLY MIOCENE
OF SOUTH AMERICA (27 - 17 MA)

THYLACOLEO CARNIFEX
(METATHERIA, DIPROTODONTIA, THYLACOLEONIDAE)
PLEISTOCENE OF AUSTRALIA

Borhyaena compared with a
1.8 meter tall person.
DIMENSIONS IN METERS
© www.prehistoric-wildlife.com 02-12-2014



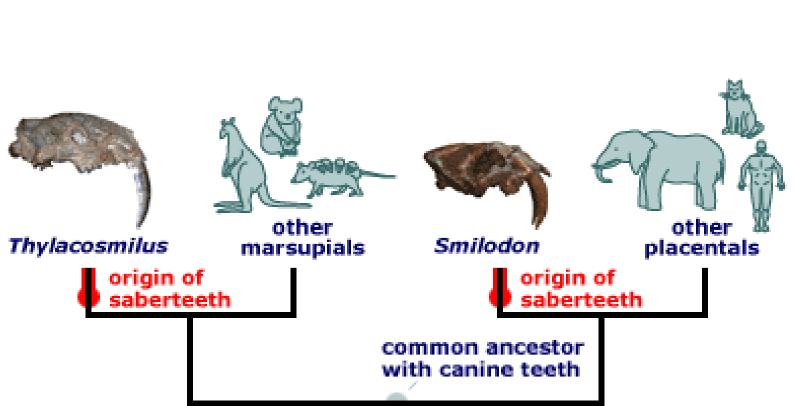


الصورة ١٨– ١١ Borhyaena [شبيه الضبع القويّ الجرابيّ]، لاحم جرابي بحجم الذئب من دهر الحياة الحديثة في أمِركا الجنوبيّة.

كانت Thylacosmilids [سيفياتُ الأسنانِ الجِرابيةُ] شبيهةً بالقططيَّات الكبيرة الأحجام. كان النوع Thylacosmilus [سيفيّ الأسنان الجِرابيّ] سيفيَّ أسنانٍ جِرابيًّا، لكنْ كانت أنيابه الوحشية أفضل تطورًا من الخاصة بالقططيات السيفية الأسنان المشيمية الخاصة بأمِرِكا الشماليّة، في Thylacosmilus كانت الأنياب السيفية أطول وأنحل ومثبَّتةً على نحوٍ أكثرَ إحكامًا في تجاويف سنّيّة كبيرة راسخة مثبَّتَة عميقًا بامتدادٍ في الوجه، لقد كانت محميَّةً على نحوٍ أفضلَ من التلف عن الخاصة بالقططيّات الحقيقيّة (الصورة ١٨– ٢). كانت أسنانه السيفية دائمة النمو وشاحذة لنفسها، وكانت مدعومة برقبة وعضلات رأس أكثر قوة. يحتمَل أنها كانت متكيِّفةً لقتل الحيوانات النباتية الكبيرة (المشيمية) بالطعن والجرح عميقًا في الأنسجة الطريّة الخاصة بالحلق أو البطن. رغم ذلك، لم تكن الأسنان الخَدِّيَّة [الأسنان الخلفية] بنفس قوة الخاصة بالقططيّات المشيميَّة.













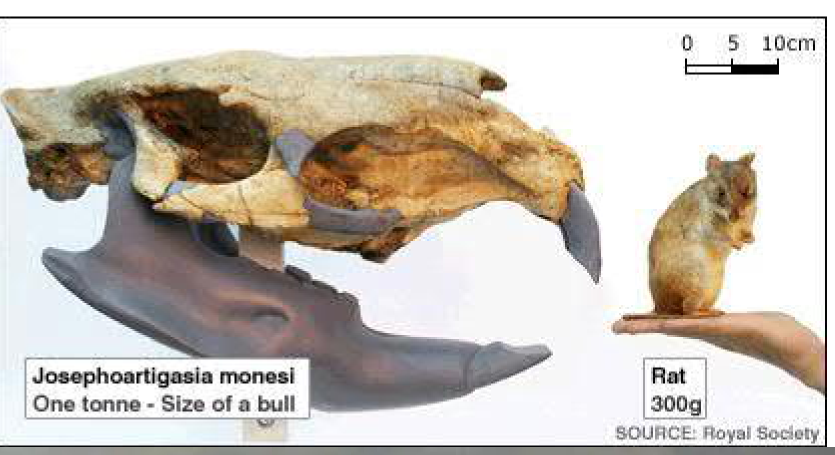
الصورة ١٨– ١٢ جمجمة وفكي وأسنان سيفيّ الأسنان الجِرابيّ الجنوبيّ أمِرِكيّ Thylacosmilus [سيفيّ الأسنان الجِرابيّ].

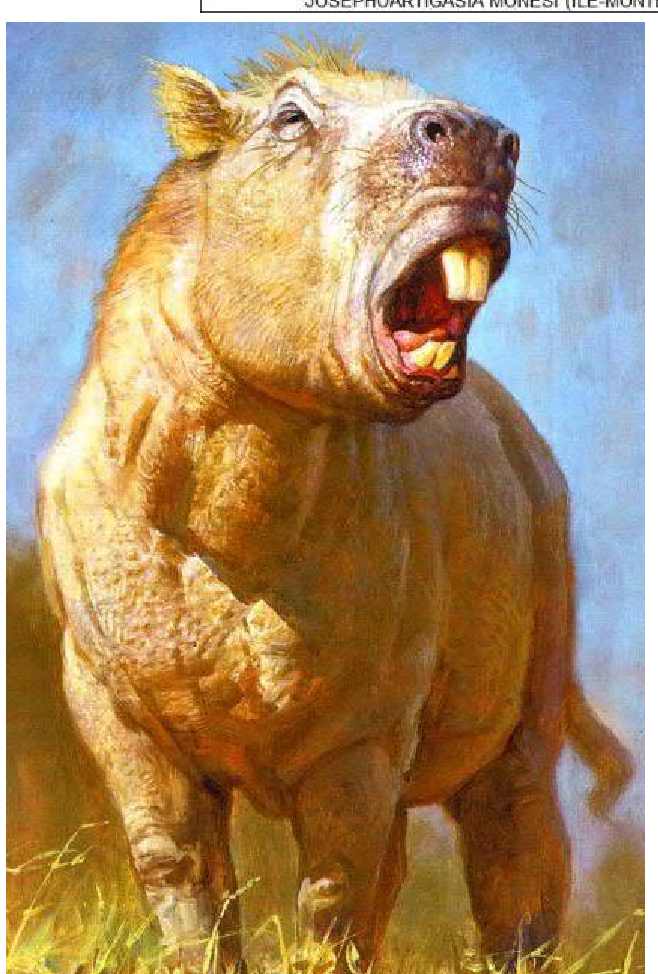
كان لتلك الجِرابيَّات المفترِسة المدهشة منافِسون غيرُ معتادين على السيادة والتفوق في طريقة اعتياش الافتراس، وهي phorusrhacids طيور الرعب أو ذوات الفكوك المتغضّنة، وهي طيورٌ غير طائرة بحجم النعام مجهَّزة بمناقير ممزِّقة قويّة جدًّا وكذلك مخالب قدمين قويَّة (راجع الصورة ١٣– ٢٢). يبدو أن طيور الرعب phorusrhacids حازَتْ في آخر الأمر اليد العُليا [التفوقَ] على اللواحِم الجِرابيَّة.

كان لقارة أمِرِكا الجنوبيَّة مجموعتها الخاصة بها من التماسيح، وهي السوبَكِيَّات sebecids (Sebecidae) [من اسم إله الفراعنة سوبك]. لقد تطورت على ما يبدو في قارة جُنْدُوانا الأم العتيقة في العصر الطباشيري، ونجت من انقراض العصر الطباشيري– التِرْشِرِي أو الثلاثي، وتشعَّبَتْ في دهر الحياة الحديثة المبكر في أمِرِكا الجنوبيّة لتصير مفترِسات بريَّة قويَّة. وعلى عكس التماسيح المائيّة، فقد كان لها جماجم عميقة وخطوم عريضة. وتطورَّت تمساحيَّاتٌ crocodilians أخرى في أمِرِكا الجنوبيَّة أيضًا إلى تراكيب جسدية تشريحية غير معتادة؛ كمثالٍ، يُعرَف من خلال المتحجرات تمساحيُّ كَيْمِن caiman [جنس زواحف قريب تطوريًّا للتماسيح] كان له فم كمنقار البطة من عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط] في كولُمْبِيا.

اكتسب النظام الإيكولُجِيُّ الخاص بأمِرِكا الجنوبيّة مهاجرين جُدُدًا في عصر الألُجوسين، منذ حوالي ٢٥ مليون عام ماضٍ، بوصولِ قوارضَ ورئيسياتٍ، على الأرجح من أفريقيا عن طريق جُزُرٍ في المحيط الأطلنطي [الأطلسي] المتوسِّع آنذاك (راجع الشكل ١٨– ٧). تشعَّبَتْ كلا المجموعتين على نحوٍ واسعٍ. تشعَّبَت الرئيسيَّاتُ إلى أنواع قرود العالَم الجديد المميَّزة، متطوِّرًا فيها عاداتٌ وصفاتٌ مناظِرة للخاصة بقرود الجيبون الجنوبي شرق آسيوية وقرود العالَم القديم. وتطورت القوارض إلى أشكال تضمَّنَتْ أكبر قارض في العالم على مر التاريخ (مكتَشَف حتى الآن)؛ [وهو Josephoartigasia monesi الجوسي–آرتيجاسي من عصر البِلَيوسين المبكر إلى المتأخر، وكان يشبه كابيبارا عملاقًا وله قرابة تطورية معه، وكان بحجم بقرة وبوزن يقدر بألف كجم (طن)، وقد عُثِرَ على العينة الأولى في أورْجواي، وسُمِّيَ باسمه هذا تكريمًا لذكرى José Artigas أحد القادة الحربيين المكافحين لتحرير بلده من الاستعمار الإسباني، يليه] في الضخامة ثاني أضخم قارض منقرض معروف وهو Phoberomys [الفأر المرعب، ونترجمها إلى القارض العملاق] من عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط] في ڤنزويلا والذي وَزَنَ ٧٠٠ كجم (حوالي ١٥٠٠ رطلٍ)!. تضمَّنَ الأعضاء الآخرون الخاصُّون بالحياة الحيوانية في دهر الحياة الحديثة في أمِرِكا الجنوبية عمالقةً آخرين: أضخم طيور طائرةٍ في كل الزمن، وهي teratorns الطيور الوحشية العملاقة من رتبة القمقاميات (راجع الفصل ١٣، ص ٤٤١)، وأكبر سلحفاة في كل الزمن، وهي Stupendemys geographicus [يعني اسمها السلحفاة المدهشة]، والتي عاشت على طول الساحل الشمالي لأمركا الجنوبية بجوار Phoberomys [القارض الضخم].



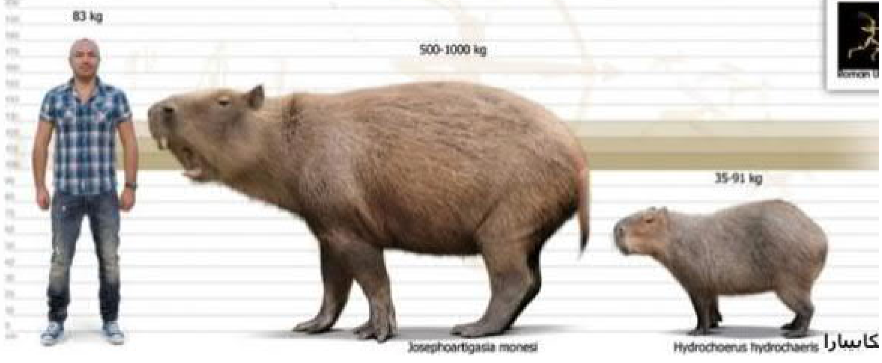




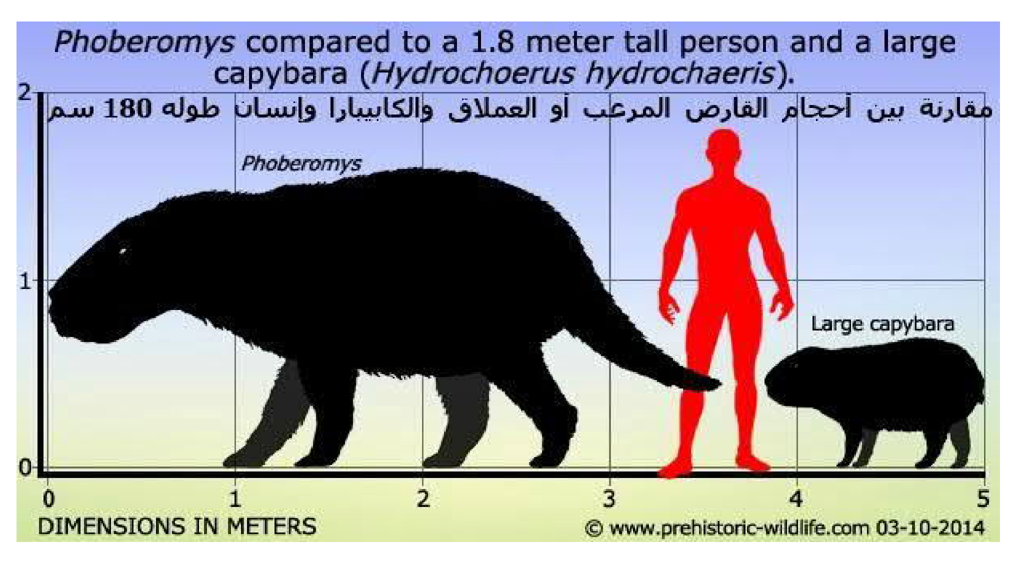






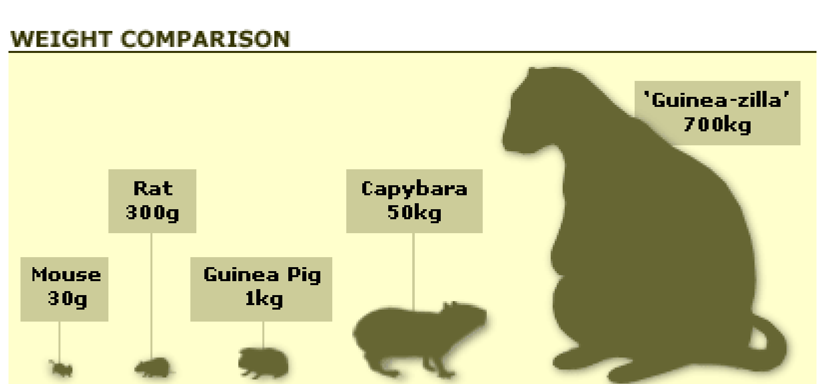


يُقدَّر وزن أضخم قارض معروف وهو Josephoartigasia الجوسي–أرتيجاسي بوزن يُقدَّر بحوالي طنٍّ

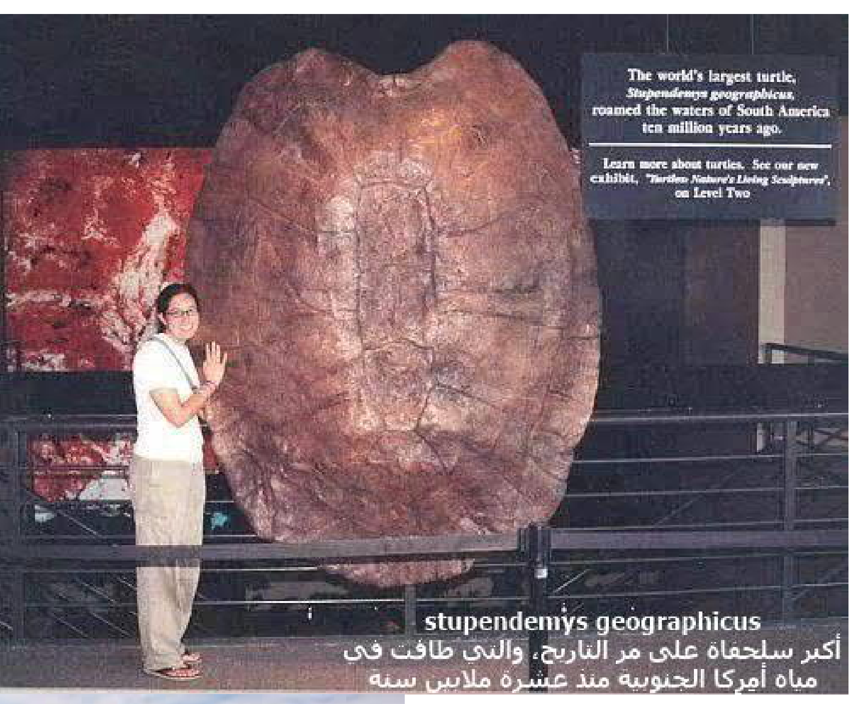








الفأر أو القارض المرعب Phoberomys





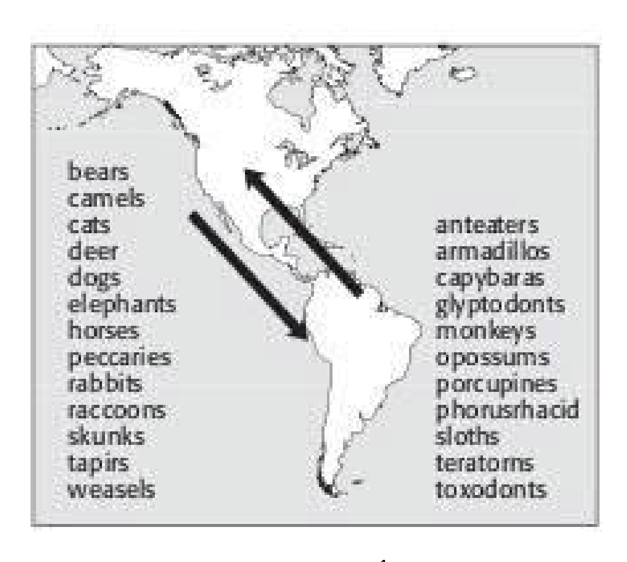


عانى هذا النظام الإيكولُجِيُّ الفريدُ من أربع صدمات هائلة في خلال عشر ملايين سنة واندثر بالكامل تقريبًا. أولًا، تجمُّد القطب الجنوبي، والذي أدَّى إلى جعل تيّار هُمْبولدت Humboldt Current _الذي يتدفق على معظم الساحل الغربي لأمِركا الجنوبيـة_ يصير أكثر برودةً وقوةً. وثانيًا، النشاط التكتوني [أي الخاص بتحركات القشرة الأرضية] على طول ساحل المحيط الهادئ رفع جبال الإنديز كسلسلة جبال كبيرة. خفَّضَ هذا الحدَثانِ سويًّا بشدة من هطول الأمطار على معظم القارة، وتحولت معظم المنطقة من غابات وسهول مروية جيدًا بالماء إلى سهول معشوشبة جافة. هذا أدّى في نهاية عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط] إلى انقراض الكثير من الحيوانات، بما في ذلك التماسيح البريَّة، وعلى وجه الخصوص انقراض الحيوانات النباتية الكبيرة الأحجام المعتاشة في السافانا.

ثالثًا، انجرفَتْ أمِركا الجنوبية شمالًا باتجاه أمِركا الوسطى والشمالية (راجع الشكل ١٨– ٧). بحلول حوالَيْ ٦ ملايين سنة ماضية، كانت الفجوة صغيرةً على نحوٍ كافٍ للسماح لحيوانات قلائل بعبورها، بالصدفة تقريبًا. عبرت حيوانات الراكون الشمالي أمِركية وبعض الفئران والجرذان إلى الجنوب، بينما عبر نوعان من حيوان الكسلان إلى الشمال. ظهرت نتيجةُ التنافسِ مباشرةً تقريبًا. أزاحت حيواناتُ الراكون الكثير من الـ borhyaenids [شبيهات الضباع الجِرابِيَّة]، وحل محل الـ Proborhyaena ذي حجم الدب راكونٌ ذو حجمٍ كحجم الدب. في آخر الأمر، منذ حوالي ٣ ملايين سنة، سُدَّ آخرُ حاجزٍ بحريٍّ مهمٍّ بين القارتين، واستطاعت الحيواناتُ المشيَ والعبورَ من إحدى القارتين إلى الأخرى.

تقترح مبادئ علم الإيكولُجِي [طرق اعتياش الكائنات الحية وعلاقاتها ببعضها وبالبيئة] ما سيحدث عندما يحدث تبادلٌ للحيوانات. ينبغي أن تحتوي قارةٌ أكبرُ حجمًا مثل أمِركا الشمالية على تنوعٍ أكبرَ من الحيوانات مما في نظيرتها الأصغر حجمًا، ويُثْبِتُ سجلُ المتحجراتِ أن هذا كان ينطبق قبل حدوث التبادل. بالتالي، إن هاجَرَتْ نفس النسبة من الحيوانات من كلٍّ من القارتين إحداهما إلى الأخرى، فإن المرء سيتوقَّع ذهاب حيواناتٍ شماليِّ أمِركِيَّةٍ إلى الجنوب أكثر من حدوث العكس. فإن كانت كل قارة يمكنها حمل عدد معيَّن فقط من الفصائل أو الأجناس من الحيوانات، فمن ثَمَّ سيتنبأ بحدوث انقراضات في كلا القارتين، لكنْ أكثرَ في أمِركا الجنوبية عما في أمِركا الشمالية. ازداد وتشدَّدَ التأثير لكون أمِركا الشمالية كانت متصلةً في أوقات متقطعة على الأقل بأوراسيا، وكانت كل هذه المنطقة الشمالية الهائلة من السهول المعتدلة المناخ تحمل تنوعًا كبيرًا من حيوانات السافَانا. على النقيض، لم تكن مساحة السافَانا في أمِركا الجنوبية بالكبر بالذي يَحْسَبُه المرءُ، لأن تلك القارة أعرض في خطوط العرض الاستوائية وضيقة على نحو جوهري شمالًا وجنوبًا. ربما كانت مستعمَرات الحياة الحيوانية في سافَانا أمِركا الجنوبية عرضة جدًّا للاجتياح من الشَمال.

حدث التبادل الرئيسي الكبير بعد ٣ ملايين سنة [يعني منذ ٣ ملايين سنة ماضية] (الشكل ١٨– ١٣). دخلت الجمال والفيلة والدببة والأيائل وحيوانات البيكاري peccaries والخيول والتابيرات وسحالي السقنقور والأرانب والقططيات والكلبيات والكنغريات والفئران وحيوانات الراكون والزباب والعِرَسيَّات أمِركا الجنوبية. وهاجرت القرود والأبوسومات وحيوانات آكل النمل والكسلان والمدرع والكابيبارا capybaras [أكبر القوارض الحية حجمًا، نصف مائي الاعتياش] والشيهم porcupines [النيص، حيوان شائك من القوارض] والـ toxodonts والمدرع العملاق glyptodonts إلى الشمال، مع الطيور العملاقة: أحد أنواع طيور الرعب أو متغضنات الفكوك phorusrhacid والقليل من أنواع الطيور الوحشية العملاقة teratorns.



الشكل ١٨– ٣ التبادل الأمركي العظيم [هجرات من الناحيتين]

ازدهر المهاجرون الجنوبي أمركيون إلى أمِركا الشمالية بها، وكذلك ازدهر المهاجرون الشمالي أمِركيون الناجحون الذين تحركوا إلى الجنوب. رغم ذلك، فككلٍّ، كان هناك انقراض كبير نهائي للمجموعات الجنوبي أمِركِيّة. يبدو القططياتُ والكلبياتُ الخاصة بالشمال في أصلها تغلبت في التنافس على اللواحم الجِرابية المتوطِّنة [الوطنية] ومعظم طيور الرعب، وأبيدَت تقريبًا كل المرتعيات الجنوبي أمركية المنشأ على الأوراق والغصينات والفواكه والمرتعيات على الحشائش في السافَانا، ربما بتغلب الخيول والجمال الشمالي أمِركية المنشأ في التنافس عليها، وربما بالاصطياد من جانب المفترِسين القادمين الجدد. استُبْدِلَ الجرابيُّ سيفيُّ الأسنانِ Thylacosmilus بقططيٍّ كبيرٍ حقيقيٍّ سيفيِّ الأسنانِ. حتى المجتاحون الأقدم عانَوْا، فقد استُبْدِلَ الراكون ذو حجم الدبِّ بدبٍّ حقيقيٍّ.

ككلٍّ، كانت النتجة كما تُوُقِّعَتْ تقريبًا، بمآل كَوْنِ حيوانات أمِركا الجنوبة هم معظم الخاسرين. المجتاحون الشماليُّ أمِركيُّو الأصول يظلُّون على قيد الحياة بقوة في العصر الحالي في أمِركا الجنوبية، بما في ذلك كل القططيَّات وجِمال اللامَه llamas الأمِركيَّة الجنوبيَّة ودستات من القوارض.

التغيرات الجغرافية التي كانت قد سمحت بالتبادل غيَّرَتْ أيضًا مناخَ المحيط الأطلسي، وهذا بدوره سبَّب تغيراتٍ عنيفة في الإيكولُجيَّة البريَّة الخاصة بأمِركا الشماليَّة وأمِركا الجنوبيّة عندما اشتدَّ وتزايد تكوُّنِ الأغطية أو القبعات الجليدية الشماليّة منذ ٥, ٢ مليون عام ماضٍ [والتي كانت قد بدأ تكوُّنُها قبل ذلك الزمن]. عانت مستعمَراتُ الحياةِ الحيوانيةِ الجنوبيُّ أمِركيةٍ من انقراضٍ كارثيّ مشابهٍ في عصر البليستوين Pleistocene المتأخر. في تلك المرة، حدثت انقراضات مشابهة في أمِركا الشمالية أيضًا، وسوف نبحث في هذا في الفصل ٢١.

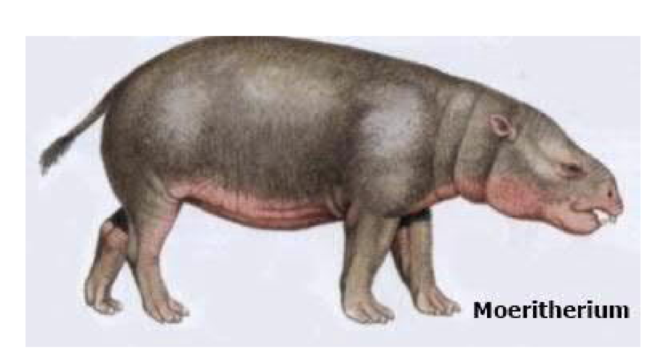
أفريقيا

كانت أفريقيا (بالإضافة إلى شبه الجزيرة العربية، لذا ربما ينبغي أن أكتب: أفريقيا–والعربيَّة Africarabia) جزءًا من قارّة جُنْدُوَانا العتيقة حتى العصر الطباشيري، عندما انفصلت عن أمِركا الجنوبية من جهة الغرب وعن القطب الجنوب والهند من جهة الشرق (راجع الشكل ٦– ٤). ومنذ زمن العصر الطباشيري المتأخر فما بعده، كان لأفريقيا وأمِركا الجنوبية، وللحيوانات والنباتات العائشة فيهما، تاريخان مختلفان على نحوٍ متزايدٍ.

كان لأفريقيا ديناصورات أشبه بالخاصة بباقي أنحاء العالم خلال العصر الطباشيري المتأخر، لكن ليس هناك سجل متحجرات لأي ثدييات أفريقية من العصر الطباشيري. قد يتغير هذا قريبًا، لأن الأدلة من علم الأحياء الجزيئي يقترح أنه لابد أن كان هناك تطور مدهش في الوحشيَّات الأفريقيّة Afrotheria (راجع الفصل ١٥) فوق القارة الجزيرة المعزولة أفريقيا–والعربية آنَذاك، والتي كانت قد انفصلت عن أمِركا الجنوبية لكنها لم تكن قريبةً من أورُبا ولا آسيا. كانت القارة تقع إلى الجنوب من موقعها الحالي، وكان يحدُّها من الشمال محيط تِيثِيز Tethys[1] الاستوائي.

تأتي أول اطلاعاتنا على متحجرات أشكال حياة دهر الحياة الحديثة الخاصة بأفريقيا من صخور عصر الإيوسين [فجر الحديث] الخاصة بمصر، الواقعة على الحافة الشمالية للقارة. عَجَّتْ البحار الدافئة الضحلة القديمة بكائنات متعضِّية مجهرية والتي كَوَّنَتْ أصدافُها الأحجار الجيرية التي بُنِيَ منها الأهراماتُ ونُحِتَ أبو الهول (سفنكس).

هنا نجد حيتانًا وأبقار بحر [أطوم أو خراف بحر] مبَكِّرين، والذين تطوَّر فيهم على الأرجح تكيفاتٌ للحياة المائية في البرك والدلتاوات[2] على طول شواطئ بحر تيثيز Tethys. كانت فصيلة Moeritheres المورِسيات [أو الموريسيَّات أو الثدييات المورِسِيَّة] حيواناتٍ ثدييةً برمائيةَ الاعتياشِ [من رتبة ذوات الحوافر، فصيلة ذوات الممصَّات أو الخراطيم Proboscideans] ذواتِ قرابةٍ تطوريةٍ مع أبقار البحر والأفيال [وربما كان أحدها أو جنس قريب منها سلفًا للمجموعتين]. كان Moeritherium [حيوان مورِس أو الفيومي القاروني، نسبة إلى واحة بحيرة مورِس أو قارون حيث اكتُشِفَت إحدى عيناته[3]] نفسه [وهو النوع الذي منه اشتُقَّ اسم الفصيلة] حيوانًا من عصر الإيوسين [فجر الحديث] المبكر في أفريقيا، والذي بدا مثلَ فيلٍ صغير الحجم سمينٍ قصير الخطم مقارنةً بالفيليَّات، ذا إيكولُجِيَّة مماثلة للخاصة بفرس النهر [البِرْنِيق]. تتضمن متحجراتُ عصر الإيوسين [فجر الحديث] الأخرى من مصر بعضَ اللواحم البدائية المبكرة، وهي رتبة السريدونات creodonts [المفترِسات العتيقة، ذوات الأسنان الآكلة للحم، والمعروفة أيضًا من قارَّات أخرى].





بحلول عصر الأُلِجوسين [الحديث اللاحق]، كانت مصر موقعًا ذا دلتاواتٍ مورقة النباتات حيث آوت الغابات الخصبة النامية قوارضَ ورئيسياتٍ وخفافيشَ، والذين كانوا كلهم مهاجرين جُدُدًا من أوراسيا. عبرَتْ anthracotheres [أسلاف وأقارب لأسلاف أفراس النهر، البِرْنيقيَّات][4] شبيهو الشكل الظاهري

[1] بحر أو محيط تيثيز أو تيثيس Tethys: بحر متوسط قديم وُجِد في حقب الحياة القديمة وكان ممتدًا من الشرق إلى الغرب ويفصل بين قارتي جُنْدُوانا ولوراسيا، وذلك قبل تحرك القارات وانفصالها وتكوين جبال الألب والبرانس والهيمالايا من رواسب بحر التِّيثيز.

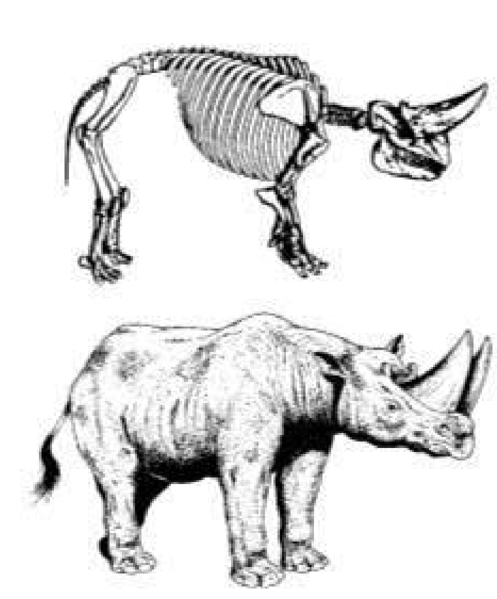
[2] الدلتا:ارض مثلثة الشكل تقع على مصب النهر ومتقاطعة مع أفرع النهر المنصبة في البحر.

[3] وموضع الاكتشاف واحة مجاورة لبحيرة مورِس Moeris lake oasis وهي المعروفة ببحيرة قارون ومورِسْ تحريف جريكي للفظة مصرية قديمة مر-ور أو القناة العظيمة التي أنشأ مشروعها أمنمحات الثالث في الفيوم كقناة مياه عذبة في عصره.

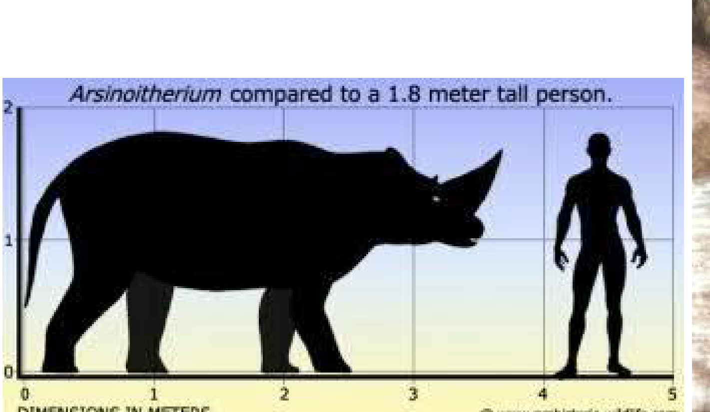
[4] anthracotheres [يعني اسمهم الحيوانات المعثور عليها في طبقة الفحم]، وهم الأسلاف النصف مائيي الاعتياش لفرسيات النهر وأفراس النهر.

بالخنزير من أوراسيا، لكنْ كانت هناك مجموعات أفريقية منها أيضًا. وكانت الوَبْرِيَّات hyracoids [فصيلة حيوانات الوَبْر hyraxc أو الزَّلَم، وهو من شبيهات ذوات الحوافر Paenungulata] في ذلك العصر حيوانات نباتية صغيرة إلى متوسطة الأحجام والتي تبدو أشبه بشكل القوارض. وكان Arsinoitherium [الثديي الشمالي الأفريقي ذو القرنين المنسوب اسمه للفيوم، الفيومي الأقرن] مرتعِيًا على الأوراق والغصينات كبير الحجم (الصورة ١٨- ١٤).



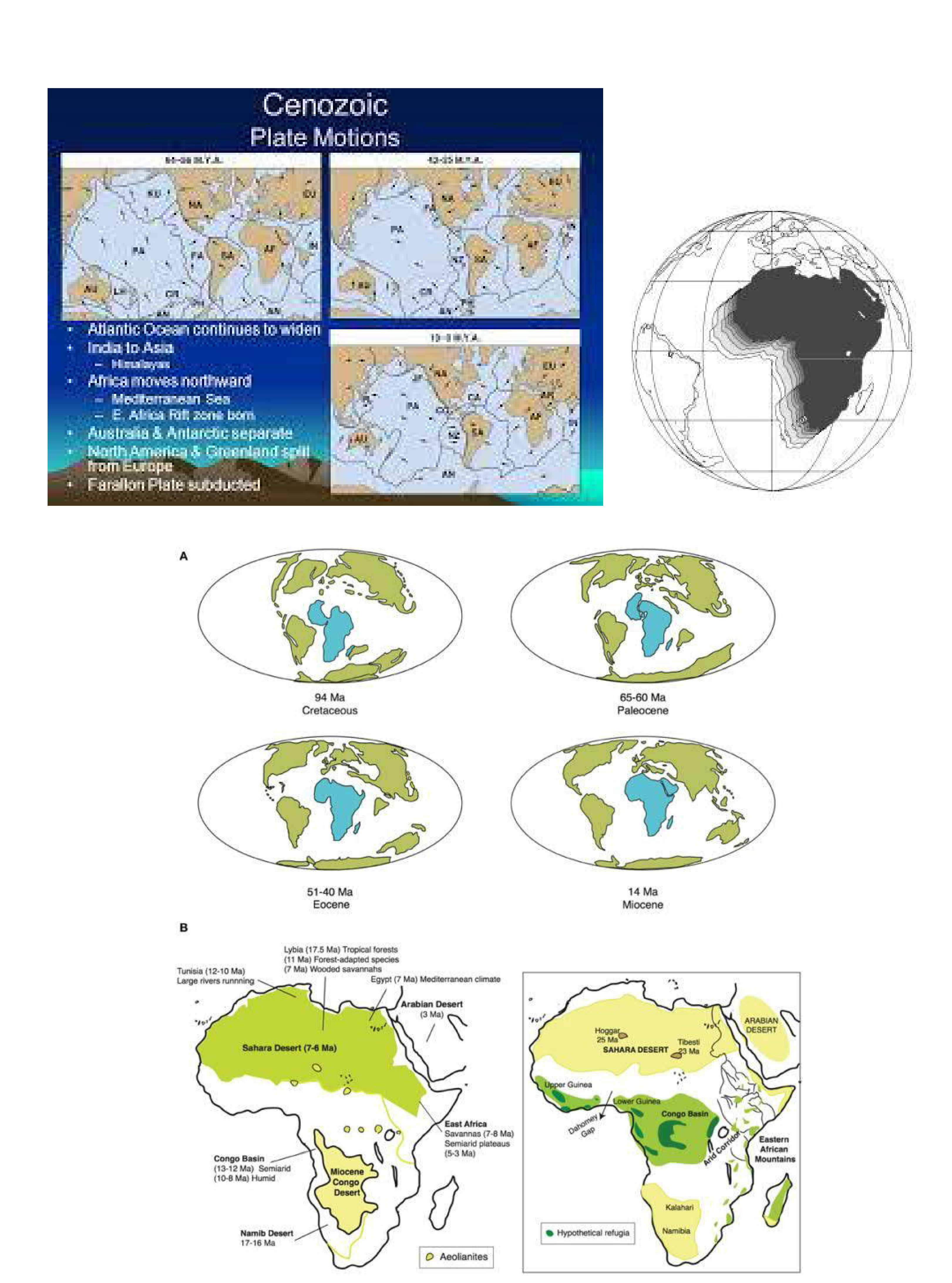


الصورة ١٨- ١٤ Arsinoitherium [الثديي الشمالي أفريقي ذو القرنين، المنسوب إلى الفيوم باسمه حيث عُثِر بها على إحدى عيناته]، ثديي مرتعٍ على الأوراق والغصينات كان يزن ما يقارب الخمسة أطنان، من عصر الأُلِجوسين [الحديث اللاحق] في أفريقيا. إعادة بناء للهيكل العظمي من تقديم السيد/ Charles William Andrews عالم متحجرات الفقاريات البريطاني (ليست متحجرة)، بناء على عظام متفرقة من متحجراته، وإعادة بناء ورسم Bob Giulan.

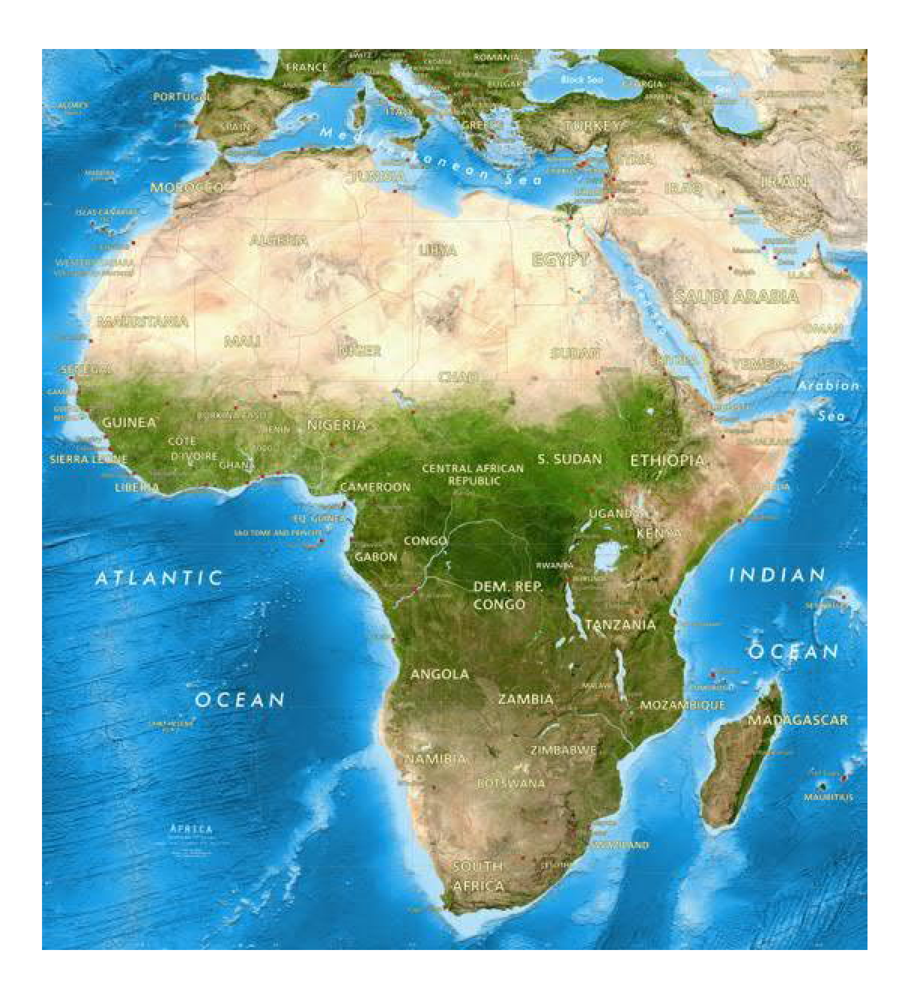




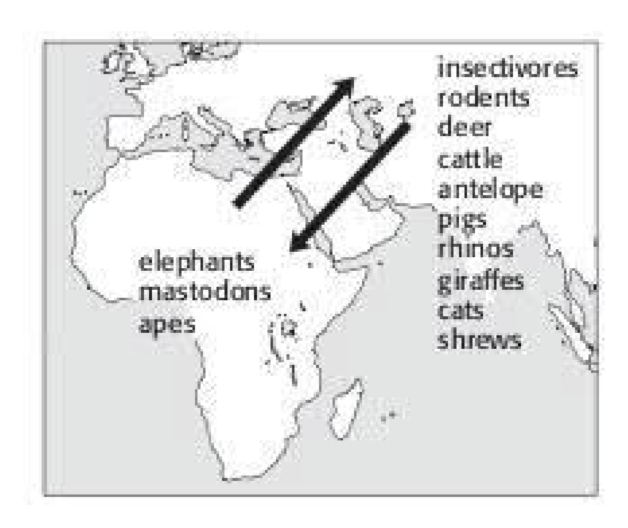
كانت ثدييات عصري الإيوسين والأُلِجوسين [فجر الحديث والحديث اللاحق] الأفريقية خليطًا من المجموعات الأفريقية الأصلية والقليل من المهاجرين الناجحين القادمين من أوراسيا. وحتى في عصر الأُلجوسين المتأخرن كانت الثدييات الأفريقية الكبيرة الأحجام لا تزال هي فصيلة الأرسينويَّات arsinioitheres ومجموعة متنوعة من فصيلة الفيليَّات. لكنْ في عصر المَيوسين [الحديث الأوسط]، انجرفت قارة أفريقيا–والعربية Africarabia بدرجة كافية لتصير قريبة من قارة أوراسيا، وفي آخر الأمر تصادمت حافَّتا القارَّتَيْنِ منذ حوالَيْ ٢٤ مليون عام ماضٍ (الصورة ١٨- ١٥). كان هناك زمن مهم من الهجرات الغير منقطعة بين الكتلتين الأرضيتين القاريتين. أثَّرَتْ التبادلاتُ على الحياة الحيوانية في كل أنحاء العالم القديم، بنفس المستوى والمدى تقريبًا الخاص بالتبادل الأمِركي الكبير [فيما بين الأمِركَتَيْنِ] (الشكل ١٨- ١٦).



الشكل ١٨– ١٥ انجرفت أفريقيا–والعربية Africarabia ببطء باتجاه الشمال الشرقي خلال دهر الحياة الحديثة. وتصادمت في النهاية مع غربي آسيا في عصر الميوسين [الحديث المبكر] المبكر على طول خط هو اليوم جبال زاجروس. ثم التفت أفريقيا قليلًا باتجاه عقارب الساعة، لتنفصل بذلك عن شبه الجزيرة العربية. في نهاية عصر المَيوسين اصطدمت الزاوية الشمالية الغربية من قارة أفريقيا بغربي أورُبا لتُغلِقا على كتلة مائية محيطية صارت البحر الأبيض المتوسط، الذي سرعان ما بدأ يجف [حيث مر بفترة جف فيها وصار صحراء جدباء مالحة]. في أثناء ذلك بدأت نشأة البحر الأحمر بادئًا كبِرْكة أفريقية بعيدًا عن شبه الجزيرة العربية، وتكَوَّن وادي الصدع العظيم الأفريقي.



الشكل الحالي لأفريقيا



الشكل ١٨- ١٦ التبادل الكبير للحيوانات بالهجرات الخاص بالعالم القديم فيما بين أفريقيا-والعربية وأوراسيا في عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط]. جاءت من أوراسيا إلى أفريقيا: آالثدييات آكلة الحشرات والقوارض والأيائل والماشية والظباء والخنازير والخراتيت والزراف والقططيات وحيوان الزباب، وهاجر من أفريقيا إلى أوراسيا: الأفيال وحيوانات المَستودون mastodons[1] [من أقارب الأفيال، من فصيلة الفيليّات] والقرود العديمو الذيل apes.

ظهرت اثنتا عشر فصيلةً من الثدييات الصغيرة الأحجام في أفريقيا في عصر المَيُوسين [فجر الحديث] المبكِّر، كانت في معظمها آكلات حشرات وقوارض من أوراسيا. وحلَّت الأيائل والماشية [الأبقار والجاموس والخراف والماعز] والظباء والخنازير المبكرون على نطاق واسع محلَّ الوبْريَّات hyraxes ذوات الأحجام المتوسطة في الدور الاعتياشي، وكانت الخراتيت وأوائل الزرافات مجتاحين كبار الأحجام. وصلت القططيَّاتُ وشَرَعَتْ تحل محلَّ السيرودوناتِ creodonts [رتبة المفترسات العتيقة]. ومتجهين إلى اتجاه الهجرة الآخر [من أفريقيا إلى أوراسيا]، هاجرت الفيليَّات من أفريقيا إلى أوراسيا، في مجموعتين تكيفيتين على الأقل، وهما الأفيال الحقيقية والمَستودونات mastodons. حتى أن بعض السيرودونات [المفترِسات العتيقة] الكبيرة الأحجام أعادت اجتياحَ وسكنى أوراسيا من أفريقيا.

في تبادل ثانٍ منذ حوالي ١٥ مليون عام، انتشرت مجموعةٌ جديدة من الحيوانات الأفريقية _بما فيها قرودٌ عليا_ سريعًا فوق الغابات وغابات الأشجار [أو الأراضي المشجَّرة] الأوروآسيوية. وهاجرت الضباع وحيوانات الزباب من أوراسيا إلى أفريقيا.

[1] يعني اسم المَسْتودُن أي: ذو الضروس ذوات الزوائد أو الثآليل على تيجانها، وهو الاسم اللاتيني الذي أطلقه عليه عالم التشريح الفرنسي Georges Cuvier.

ليس واضحًا ما إذا كان اصطدام القارتين نفسه هو ما غيَّرَ المناخَ، أم ما إذا كان المناخ تأثَّرَ أكثرَ بالأحداث الكبيرة في نصف الكرة الجنوبي. أيًّا ما كان السبب أو الأسباب، فإن التغير المَيوسينيَّ من أراضي غابات إلى سافانا كان مسؤولًا جزئيًّا عن نجاح العدد الكبير من الحيوانات المرتعية على الحشائش المسرودة أعلاه.

بحلول نهاية عصر المَيُوسين [الحديث الأوسط]، ظهر المزيد من المهاجرين في أفريقيا: حيوانات صغيرة، بما فيها الكثير من أنواع الخفافيش، والحصان هيباريون Hipparion ذو الثلاثة أصابع. في غضون ذلك، تطورت أفراس النهر [البِرْنِيقُ] في أفريقيا، وتطورت الظباء والمواشي التي كانت قد وصلت في وقت أقدم إلى شيء قريب من التنوع المذهل الذي نراه اليوم في آخر أزمنة التاريخ التطوري الحادث.

كانت أفريقيا وأوراسيا متصلتين بريًّا منذ عصر المَيُوسين، لكن هذا لا يعني بالضرورة إمكانية تبادل حر للحيوانات بالهجرات طوال ذلك الزمن. كمثال؛ فقد جفَّ البحر الأبيض المتوسط وصار صحراء مالحة فسيحة هائلة كأنه نسخة عملاقة من "وادي الموت" Death Valley[1] منذ حوالي ٦ ملايين سنة ماضية. لم يستطع سوى القليل من الحيوانات عبورَ هذا الحاجز. لاحقًا، شكَّل تطور الظروف الصحراوية فيما صار الصحراء الكبرى الأفريقية حاجزًا آخرَ مرعبًا لهجرة الحيوانات لمعظم ملايين السنوات القلائل الماضية. في العصر الحالي، فإن حيوانات أفريقيا الشمالية أشبه بالخاصة بأوراسيا أكثر مما هي إلى حيوانات المناطق الأسفل من الصحراء الكبرى.

شهد عصر البِلَيْستوسين [الحديث اللاحق] انقراضًا كبيرًا في أفريقيا، حيث انقرض ثلث أنواع الثدييات. لكنْ حلَّ محلَّهم أنواع متطورة حديثًا مستجدَّة، لذلك ظل التنوع الحيوي الكلي عاليًا. يبدو أن أفريقيا لم تتضرَّرْ بتأثيرات ونتائج العصور الجليدية على نحوٍ عنيف جدًّا. على النقيض، فعندما دُفِعَت حيوانات أورُبا باتجاه الجنوب بفعل البرد والجليد المتقدِّم الزاحف، لم يستطيعوا عبورَ البحر المتوسط ولا الصحراء الكبرى، وانقرض الكثير من أنواعهم. وقد أثَّرَت عمليات الصيد البشرية على الحياة الحيوانية في أفريقيا بدرجة أقل من الخاصة بالقارّات الأخرى، ربما لأن البشر تطوروا في الأصل هناك تدريجيًّا حيث نشؤوا وكان لدى الحيوانات الأفريقية وقتٌ كافٍ للتكيُّفِ والتغيُّر معهم. أما في القارّات الأخرى فكان تأثير البشر أكثرَ فجائيةً وشِدَّةً. إن الحيوانات التي كانت واسعةَ الانتشارِ في كل أنحاء العالم صارت في الزمن الحالي مقتصرةً على أفريقيا أو تكاد تكون كذلك (كالخراتيت والأسود والفهود والضباع وأنواع الخيليات شبيهات الأحصنة البريّة [الوحشيّة] والحمير الوحشيَّة). فمحميَّةً هناكَ بفعل الأحداث الجغرافية والمناخية والتاريخية الخاصة بدهر الحياة الحديثة المتأخر، ظلت الكثير من الكائنات على قيد الحياة بنجاحٍ نسبيًّا في أفريقيا حتى هذا القرن.

الجزر والجغرافيا الحيوية

تمنع الحواجز الجغرافية الصارمة النباتاتِ والحيواناتِ البَريَّةَ العائشةَ على الجزرِ من التحركِ بسهولةٍ إلى مناطقَ بريَّةٍ أخرى، ولا بد أن يعبر أي مجتاحين محتمَلين أيضًا الحواجزَ الجغرافيةَ. هذا يعني أن مجموعات أشكال الحياة الحيوانية على الجُزُر تنزِعُ إلى أنْ تتطوَّرَ في عزلةٍ أكثرَ من المواطن الأكثر اتساعًا وتقلُّبًا. بالتأكيد، هذا ينطبق على أي مقياس، سواءً أكنَّا ننظر إلى جزر صغيرةٍ أو جزر بحجم قارات (قارات جزيرية كأستراليا ونيوزلاند). يستطيع التاريخ التطوري في الماضي والحاضر على الجُزُر أن يعلِّمَنا الكثيرَ عن التطور. إنها ليست صدفةً أن تشارلز دارْوِنْ قد نُوِّرَت بصيرتُه على نحو خاصٍ بزيارته لجزرٍ مثل أرخبيل جالاباجوس، وألْفِردْ والاس بسنواته في إندونيسيا.

لقد رأينا بعضَ تقلُّباتِ مجموعات أنواع الحياة الحيوانية على القارَّات عبر مدى زمني من عشرات ملايين السنوات، لكن الأمر يستحق النظر إلى حالاتٍ تُظْهِرُ أحداثٌ على مقياس زمنيٍ وحَدَثيٍّ أصغر على جُزُرٍ أصغرَ على مدى فترات زمنية أصغر سرعة وقوة الانتخاب الطبيعي في المُسْتعْمَرات [المجموعات الحيوية] المعزولة.

الحيوانات، والطيور المفترسة الخاصة بشبه جزيرة جارْجانو Gargano

[1] وادي الموت: صحراء تقع في شرقي كاليفورنيا، وهي إحدى أكثر الأماكن ارتفاعًا في درجة الحرارة في الصيف على مستوى العالم، بالإضافة إلى صحارى أخرى في أفريقيا والشرق الأوسط

في عام ١٩٦٩، كان ثلاثة جيولُجِيِّين جرمانيين يستكشفون صخورَ الحجر الجيري من دهر الحياة الوسطى الخاصة بشبه جزيرة جارْجانو في جنوبيِّ إيطاليا (الصورة ١٨– ١٧). في زمنٍ في دهر الحياة الحديثة المبكر كانت هذه الكتلة الأرضية فوق مستوى سطح البحر وتكوَّنَتْ كهوف وصدوع في الحجر الجيري. وفي عصر المَيوسين [الحديث الأوسط] المبكر فُصِلَتْ وعُزِلَت منطقة جارجانو عن البر القارِّيِّ بفعل ارتفاعٍ في مستوى سطح البحر لتصير جزيرةً في البحر المتوسط في ذلك الزمن. عُزِلَت في الجزيرة الحيوانات البرِّيَّة العائشة هناك بسبب ارتفاع مستوى البحر. خلال تلك القلائل من ملايين السنوات فقط، من آنٍ إلى آخر كانت تسقط حيوانات في الصدوع التي في الحجر الجيري، حيث كانت تُغَطَّى بطبقة رفيعة من التُّرْبةِ وتُحْفَظُ كمتحجراتٍ. في العصر الحالي، تُقْتَلَع الحجارة الجيرية بحثًا عن الرخام، ويمكن العثور على العظام في جيوب التُرَبِ القديمة المكشوفة في جدران المحاجر.

لم تكن هناك حيوانات كبيرة الأحجام معزولة على جارجانو عندما انعزلت. كانت الزواحف الوحيدة الكبار الأحجام سابحين (السلاحف والتماسيح) وكان الثديِيُّ اللاحمُ [المفترِس] الوحيد أيضًا سابحًا، وهو قُضَاعة كبير[ة] الحجم ذو أسنانٍ ثلماءَ غيرِ حادَّةٍ والذي أكل على الأرجح المحَّارَ معظمَ الوقتِ ولم يصطَدْ على البرِّ.

ولعدم وجود مفترسِين برِّيِّين كبار الأحجام على الجزيرة، تطورَّتْ الثدييات الصغارُ الأحجامِ سريعًا إلى أشكالٍ مدهِشة. كانت حيوانات البِيكة pikas الصغار الأحجام الشبيهون بالأرانب [وهم من فصيلة الأرنبيَّات] وفيري الأعداد، وتطوَّرَتْ حيواناتُ زُغْبَةٍ dormice [من القوراض] ضخمة على الجزيرة. وتطورت حيوانات هَمِسْتِر ضخمة والتي تغلَّبَتْ عليها في التنافس في آخر الأمر الجرذان والفئران الحقيقة. نَمَى بعض أنواع فئران جارجانو إلى حجم ضخم، بجماجم طول الواحدة منها ١٠ سم (٤ بوصات)، وتطوَّر في الكثير من أنواعها أسنانٌ سريعة النمو بنفس درجة تعقيد أسنان القنادس. لقد كانت تأكل على الأرجح موادًا قاسية جدًّا. وكان Hoplitomeryx [يعني اسمه الأيل ذو الخوذة] أيلًا تطوَّرَ فيه قرون [عادية الشكل] بدلًا من قرون الأيائل المتشعبة antlers (الصورة ١٨– ١٨).











الصورة ١٨– ١٨ أيلٌ ذو قرونٌ [حادَّة] بدلًا من قرون الأيائل الثلماء، تطوَّر Hoplitomeryx [الأيل ذو الخوذة] في عزلة جغرافية على شبه جزيرة جارجانو التي كانت جزيرة في عصر المَيوسين [الحديث الأوسط].

إن لم تكن هناك قططيَّات ولا كلبيَّات ولا أي مفترِسين برِّيِّين آخرين، فما الذي كان يكبح تكاثر القوارض؟ أبالمرض والمجاعة؟ ولماذا تطوَّرَتْ في Hoplitomeryx قرونٌ ذوات مشهد مثير، إن لم يكن هناك مفترِسون لمقاتلتهم لإبعادهم؟ لقد كانت القرون قاتلة للغاية أكثر من اللزوم عن أنْ تُسْتَعْمَلَ للتعارك بين أفراد النوع.

يبدو أن الإجابة على هذين السؤالين هي الطيور المفترِسة (الجوارح). كان نوعٌ ضخم من الصقر أو الباز الحوَّام [فصيلة العقبان المسرولة عريضة الجناحين Buteoninae] _يُسمَّى Garganoaetus_ له حجم مماثل أو أكبر من حجم العُقاب الذهبي[1]. ولعله كان يصطاد في النهار. لقد كان قادرًا تمامًا على على الإمساك بصغار السن وصغار الأحجام من Hoplitomeryx [الأيل ذي الخوذة]، ولعل القرون الحادة تطورت لحماية مؤخرة الرقبة من الجوارح. في العادة والطبيعي، تختبئ الأيائل الصغار وسط النباتات، لكنَّ جارجانو كانت جزيرةَ حجرٍ جيريٍّ مكشوفةً، بدون مخبأٍ في النهار. وفي الليل، كان البومُ من نوع الهامَة أو بوم الحظائر يتولى الزمامَ، فقد تطورت أكبر بومة في كل الزمن على جزيرة جارْجانو.

طيور عصر البِلَيْسْتُوسين العملاقة في كوبا

كان لكوبا مجموعة عجيبة من الحيوانات المعزولة عليها في أثناء العصور الجليدية. لقد عُثِرَ على ثدييَّاتٍ من عصر البِلَيْستوسين هناك بأعدادٍ هائلةٍ في رواسب كهوف الحجر الجيري، ولدينا فكرة معقولة عن الإيكولُجِيَّة الغير المعتادة التي لا بد أنها كانت للجزيرة. وعلى وجه الخصوص، فقد كانت هناك أعداد هائلة من حيوانات الكسلان القاطنة الأرض والقوارض، وكانت آكلات الحشرات شائعةً جدًّا. لقد عُثِرَ على عشرات الآلاف من فكوك الفئران في كهفٍ واحدٍ، وعُثِر في موقعٍ آخر على متحجرات ٢٠٠ كسلان قاطن للأرض. بالإضافة إلى ذلك، تدل الأعداد الكبيرة المعثور عليها من متحجرات الخفافيش مصَّاصة الدماءِ على أنه قد كانت هناك أعداد كبيرة من الحيوانات الحارة الدماء لتتطفل عليها. وُجِدَت متحجراتٌ مشابهةٌ أيضًا ولو أنها أقل إثارةً ومشهديَّةً على جزيرتي بورتو ريكو Puerto Rico وهسبانيولا Hispaniola.

لا يوجد تقريبًا ثدييات لواحمُ في تلك اللقايا، وكما في حالة جارْجانو الإيطالية، فنحن مدفوعون للتساؤل عما كان يبقي المجموعات السكانية أو المستعمَرَات] الخاصة بالحيوانات مكبوحةً. يبدو أن الإجابة هنا أيضًا هي الطيور الجوارح. ففي الكهوف وُجِدَ مع عظام الثدييات أيضًا أعدادٌ كبيرة من

[1] العقبان الذهبية جوارح ضخمة شديدة القوة، ذات ريش بني قاتم وجناحين عريضين، ويختلف طولها باختلاف الأفراد منها، لكنه يبقى يتراوح بين ٧٠ و٨٥ سنتيمتر (بين قدمين و٤ إنشات إلى قدمين و٩ إنشات)، ويتراوح باع جناحيها بين ١٨٥ و٢٢٠ سنتيمترًا (بين ٦ أقدام وإنش واحد إلى ٧ أقدام و٣ إنشات)، أما وزنها فيتراوح بدوره بين ٣ و٦ كيلوغرامات (بين ٧ و١٣ رطلاً). العُقاب الذهبية (الاسم العلمي : Aquila chrysaetos) هي إحدى أشهر الجوارح في العالم وأكثرها شيوعًا في نصف الكرة الأرضية الشمالي، ومن أكبر العقبان على الإطلاق. تنتمي هذه العقبان إلى فصيلة البازية مثل غيرها من بني جنسها.

عظام الطيور الصغيرة الأحجام. هذا يوحي بأن لقايا الكهوف هناك هي في الأساس من تراكمات كرات فضلات البوم المتقيَّأة[1] وفضلات مُستعمَرات الخفافيش. لكنَّ أحجامَ العظامِ تدلُّ على أن البوم العملاق كان يُخرِجُ كراتِ برازٍ أكبرَ بكثيرٍ من التي يُخْرِجُها البومُ العاديُّ.

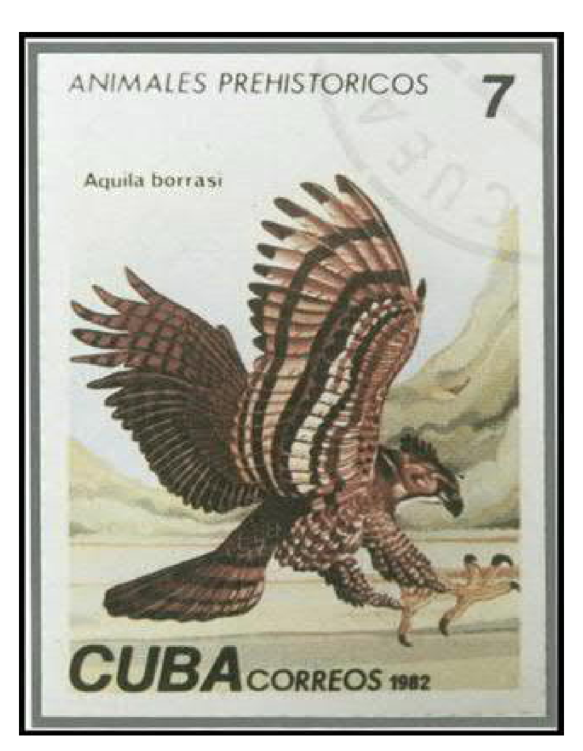
في عام ١٩٥٤م، اكتُشِفتْ متحجرةُ بومةٍ ضخمة Ornimegalonyx، كبيرةً على نحوٍ كافٍ لأنْ تفترِسَ أطفال حيوانات الكسلان القاطن للأرض المنقرض. لاحقًا في نفس تلك السنة، عُثِرَ على متحجرة نسر [عُقاب] أكبر حجمًا من أي نوعٍ حيٍّ. تُكْمِل متحجرة النسر ذي حجم النسر الأمِرِكِيِّ [الكُنْدور condor] ومتحجرة البومة العملاقة التي بحجم أنواع الجوارح التي كانت في جارجانو الإيطالية، صورةً لمجموعة من المُفترِسات غريبة تمامًا عن خبراتنا المعاصرة.

لا بد أن البومة الضخمة Ornimegalonyx [البومة الضخمة ذوات الرجلين المتكيفتين للركض] كان طولها واقفةً مترًا وبوزن حوالي ٩ كيلوجرامات. ربما لم تكن طائرة قوية، لأن عظمة الصدر تبدو ضعيفةً بالنسبة إلى باقي الهيكل العظمي. لكنْ بمنقارها ومخالبها الضخام المروِّعين لعلها استطاعت افتراس القوارض وحيوانات الكسلان الصغار السن بنجاح. وفي النهار كان يقوم النسر الضخم بنفس الوظيفة، فقد كان أكبر من النسر آكل القرود الخاص بالغابات الاستوائية في العصر الحاليّ. يحتمَل أن النسر الضخم تغذَّى على جثث حيوانات الكسلان القاطن الأرض الضخم، بينما كان البوم الكبير الحجم الآخَر إضافةً لعدد أنواع المفترِسات الليليّة.



انقرض كاملُ هذا النظامِ الإيكولُجِيّ قربَ نهايةِ عصر البِلَيسْتوسين في كوبا وكل الجزر الكاريبيَّة الأخرى. نحن لا نعرف التاريخَ الجيولُجِيَّ لكوبا بدرجة كافية لكي نقترح بأنَّ تدخلّ البشرِ سبب تلك الانقراضاتِ.

[1] المواد الغير قابلة للهضم المتخلفة في قانصة (حوصلة) البومة مثل الأسنان والجماجم والمخالب والريش يكون خطيرًا للغاية أن تمر عبر باقي الجهاز الهضمي للبومة، ولإخراجها بأمان فإن حوصلة البومة تضغطها في صورة كرات مكبوسة بإحكام والتي تتقيؤها البومة. تعرف الكرات المتقيأة تلك بكرات فضلات البوم owl pellets.



Buteogallus borrasi Buteogallus borrasi من الصقور العقبانية الضخمة التي كانت متوطنة في كوبا، انقرض في عصر الهولوسين [العصر الحديث، الفترة الحديثة، بعد العصر الجليدي، آخر عصور حقب الحياة الحديثة]

"جُزُرٌ" جغرافية حيوية أخرى

لا ينبغي أن تكون الجزر بالمعنى الجغرافيّ البيولُجِيّ قطعًا صغيرة من اليابسة محاطة ومعزولة بالماء. فيمكن أنْ تُعْزَلَ الأنواعُ القاطنةُ للجبال من خلال أراضٍ سهلية حولها، لذلك في بعض نواحي أفريقيا كل نظامٍ إيكولُجِيّ خاصّ بجبلٍ له أنواعه الخاصة من العناكب. تُعْزَل أشكال الحياة الحيوانية لبحيرةٍ من خلال مستجمَع الصرف أو مِقسَم المياه[1]. ويمكن أن تُعزَل أراضي الأراضي ذوات الأشجار من خلال أراضٍ معشوشبة خالية من الأشجار. وحتى في المحيطات، تجد حيواناتُ الماءِ الضحلِ الأحواض المحيطية[2] حواجز لها بنفس الدرجة التي تجدها مع كتل اليابسة. يمكن تصور الكائنات المتعضّية البحرية على أنها تعيش في جُزُرٍ من الماء محاطة ببحارٍ من اليابسة.

كمثال، في عصر الأُلِجوسين [الحديث اللاحق] المتأخر، ومنذ حوالَيْ ٣٠ مليون عام ماضٍ، تطوَّرت حيوانات الفظ وأسود البحر حول حوافِّ المحيط الهادئ الشَماليّ، بينما تطورت الفقماتُ حول حوافِّ المحيط الأطلسي [الأطلنطي] الشمالي. لم تتلاقَ المجموعتان حتى زمن لاحقٍ بكثير في دهر الحياة الحديثة، ربما لأنهما كانتا مفصولتين معزولتين عن بعضهما البعض بحاجز الكتل الأرضية القارية الشمالية والجنوبية الخاصة بالأمِركَتَيْنِ.

[1] watershed: حوض الصرف، الحدود التي تفصل بين منابع سلسلة من الجداول أو الأنهر الصغيرة المتدفقة أو النازلة في جهة واحدة من حيد وما بين منابع الجداول على الجهة الأخرى من الحيد. ويعرف بـ Drainag area منطقة مستجمع الصرف: الإسقاط الأفقي لمنطقة ما حيث يوجَّه سطحها في اتجاه نهر فوق نقطة محددة على النهر.

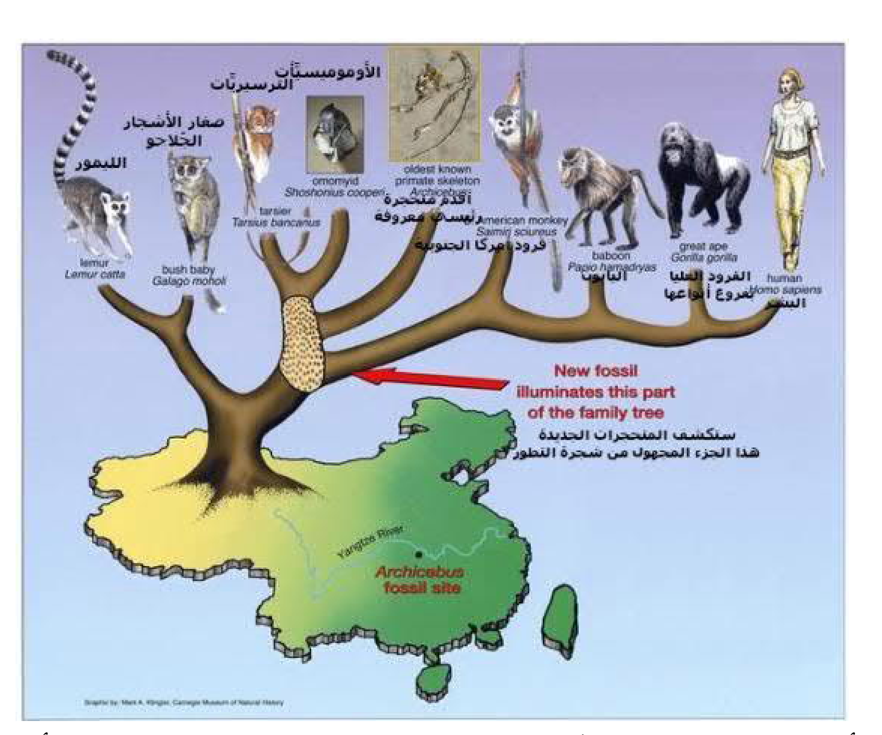
[2] ocean basin: حوض المحيط، حوض بحري، جزء المنخفَض الأرضي أو جزء من قاع المحيط، ويقع على عمق أكثر من ٢٠٠ متر، وهو مغطًّى على نحو طبيعي بماء المحيط أو البحر.

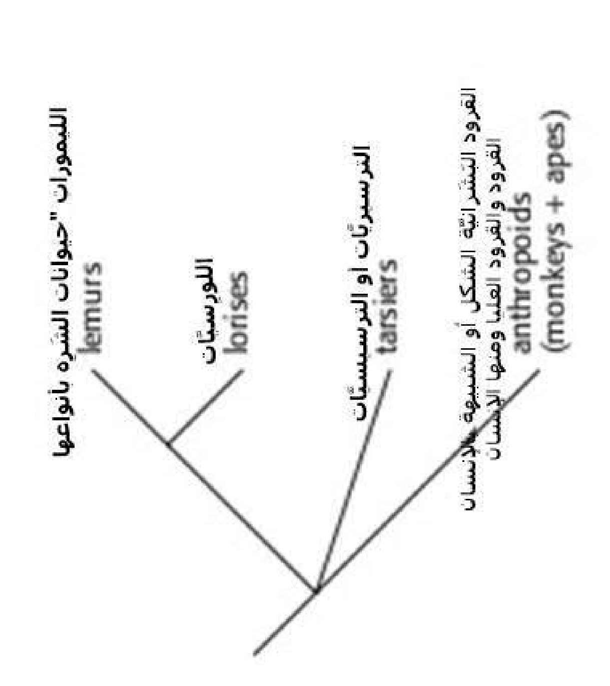
الفصل التاسع عشر: الرئيسيات

إننا نهتمُّ بوجهٍ خاصٍّ بتاريخ أسلافنا الخاصِّين بنا. فباعتبار كل شيء، لقد أنتَجَ تطوُّرُ الرئيسياتِ الحادثُ حديثًا البشرَ، الذين هم أكثر الفاعلين انتشارًا وقوةً وامتلاكًا لإمكانية التدمير البيولُجِيّ على كوكب الأرض.

معظمُ الرئيسيَّاتِ الأحياءِ[1] حيواناتٌ صغيرة الأحجام استوائية المواطن قاطنة للأشجار وتأكل طعامًا عاليّ السعرات الحرارية، على نحوٍ رئيسيٍّ حشرات. هذا ينطبق خصوصًا على المجموعات التي تحتفظ بأكثر السمات البدائية للرئيسيَّات. وبالأخذ بظاهر هذا، فإنه يقترح بأن أسلاف الثدييات بحثوا عن الحشرات أو الفواكه أو البذور أو الرحيق على الفروع الصغيرة، عاليًا فوق الأشجار، أو في الشُجَيْرات الأصغر حجمًا. تدعم الأدلة التطورية هذا السيناريو، لأن الرئيسيات ذوو علاقة أوثق بثلاث مجموعات ثديية تعيش أيضًا على الأشجار، وهي زباب الأشجار tree shrews[2] وحيوانات الكُلُوجو colugo (dermopterans ذوات الامتدادات الجلدية الخاصة بالتزلق أو "الليمورات الطائرة" الجنوبي شرق آسيوية) والخفافيش (المخطّط التطوري ١٩– ١).

لقد كانت هذه المجموعة من الثدييات الصغار الأحجام القاطني الأشجار قد اجتاحت مَواطَنَ الغاباتِ بحلول نهاية العصر الطباشيري، ولا بد أن العديد من خطوط تحدرها التطورية نجت من انقراض العصر الطباشيري– الترْشِري أو الثلاثي. إن المجموعات الأعضاء الناجية الخاصة بهذا الفرع التطوري هن الخفافيش والرئيسيات وزباب الأشجار والجنس الناجي من dermopteran ذوات الامتدادات الجلدية الخاصة بالتزلق، وهو الكُلُوجو أو "الليمور الطائر أو المتزلِّق" الخاص بالغابات المطيرة في إندونيسيا والفلبين ومالايو وجنوبي شرق آسيا (المخطط التطوري ١٩– ١). ولأنها كانت أقارب تطوريين وثيقين للغاية، فإنه كان ولا يزال صعبًا على علماء المتحجرات والأحياء القديمة تمييز الرئيسيات المبكرة عن الأعضاء المبكرين الخاصين بالمجموعات الأخرى. كانت كل تلك الحيوانات صغار الأحجام وأكلوا على الأرجح الرحيقَ والصمغَ وحُبَيْبَاتِ اللقاحِ والبذورَ والفاكهةَ والحشراتِ في المظلات الشجرية الخاصة بالغابات.

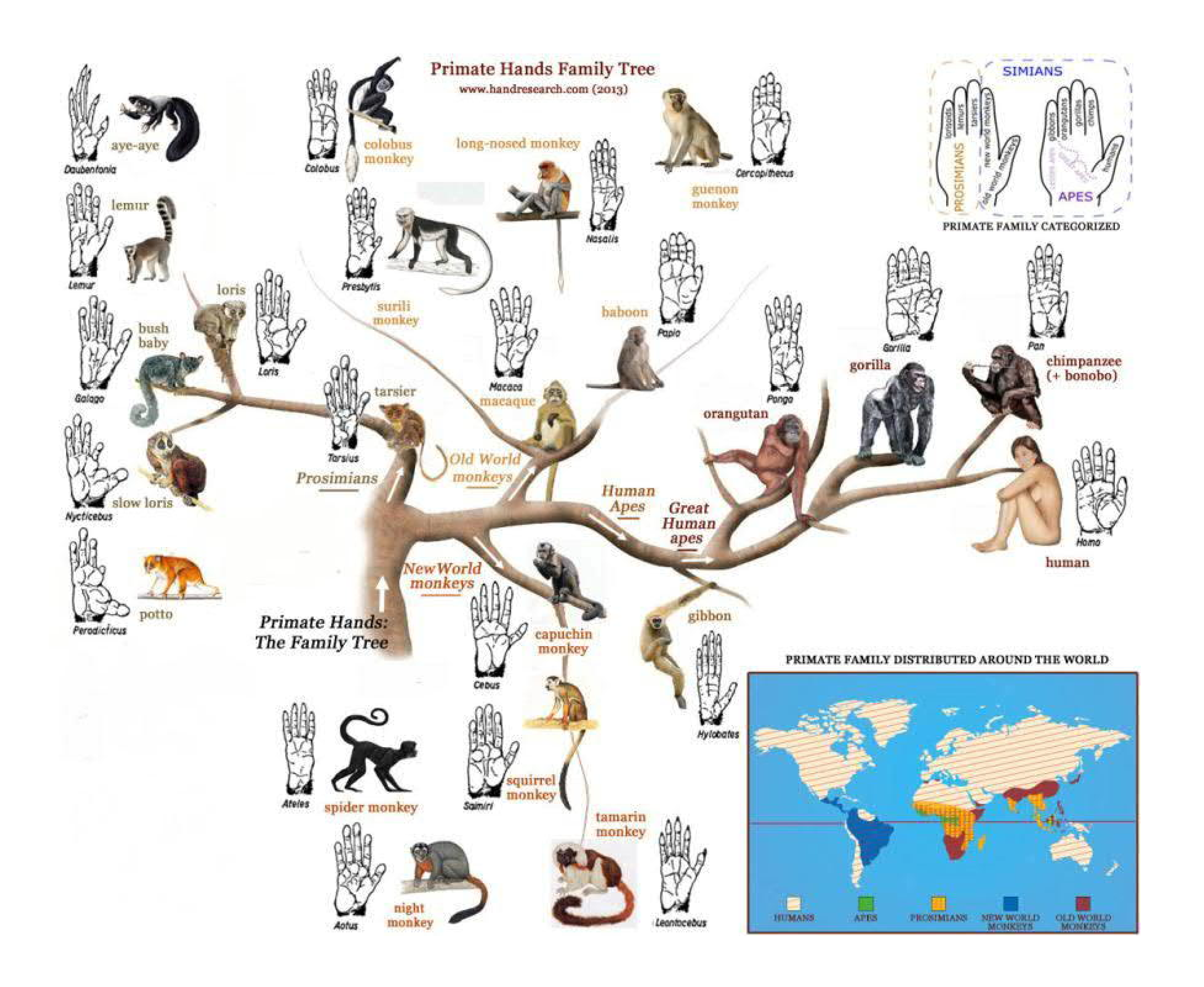




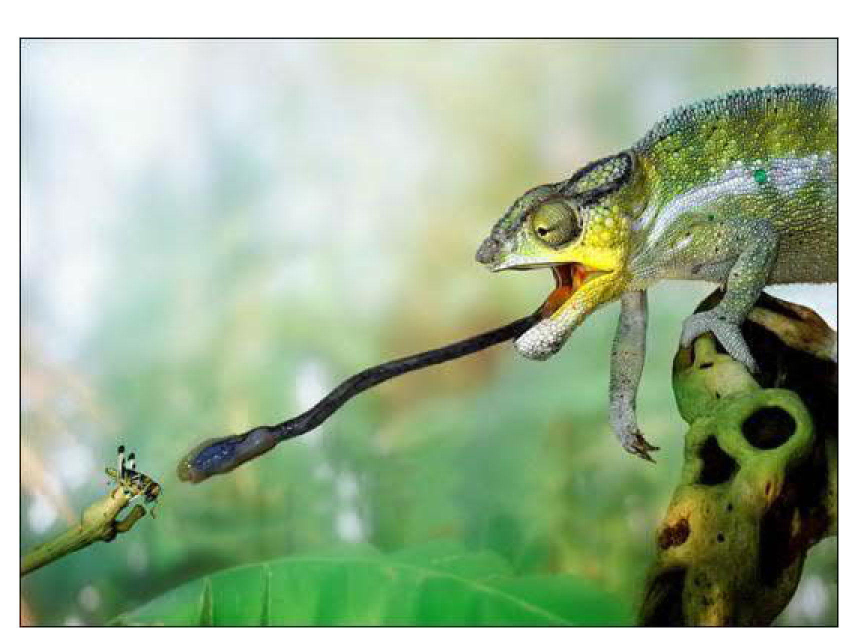
المخطط التطوري ١٩– ١ مخطط تطوري للرئيسيات الحية. إن تفرع الفروع أو المجموعات قديم زمنيًّا، لذلك فإن نمط التفرع قرب المنبت التطوري أو القاعدة محل جدال.

[1] كما ذكرتُ سابقًا أتعمد كمترجم استعمال ضمائر العاقل للحيوانات وخاصة الأكثر تطورًا لاعتباري وجود درجة من العقل لديهم، حتى لو اضطررت لكسر بعض قواعد اللغة الصرفية عمدًا.

[2] زبابيات الشجر مجموعة صغيرة من الثدييات الحقيقية التي تنتشر بكثرة في الغابات الاستوائية بجنوب شرق آسيا تنقسم إلى ٢٠ نوع في ٥ أجناس ، كما تتميز بارتفاع معدل كتلة الدماغ إلى الجسم أكثر من أي ثدي آخر ، و هذا يشمل الإنسان أيضا ، و هذا المعدل المرتفع شائع بين الثديات التي تزن أقل من كيلوجرام واحد . بالرغم من أن اسم هذا النوع هو زبابيات الشجر إلا أنه ليس زباباً حقيقياً (فهي من الرئيسيات) و ليست كل الانواع بالضرورة قطانة للشجر. في تصنيف الثدييات تعتبر الزبابيات أقرب ارتباطا للرئيسيات، و قد استُخدِمَتْ كبديل للرئيسيات في الدراسات التجريبية الخاصة بالحسر "قصر النظر" و الضغوط الاجتماعية النفسية و التهاب الكبد . هي ثديات اسطوانية بذيل طويل وناعم، ذات فراء رمادي إلى بني محمر، الأنواع الأرضية أكبر حجما من الأنواع الشجرية، وتمتلك مخالب أكبر منها تساعدها على الحفر لاصطياد فرائسها من الحشرات ، تعتبر من القوارت (آكلات المواد الحيوانية و النباتية) ، تتغذى على الحشرات والفقاريات الصغيرة والفواكه والبذور، ومن بين الأطعمة الاخرى تأكل زبابيات الشجر ثمار الرافليسيا. لديها أنياب ضعيفة التطور وأضرس غير متخصصة .



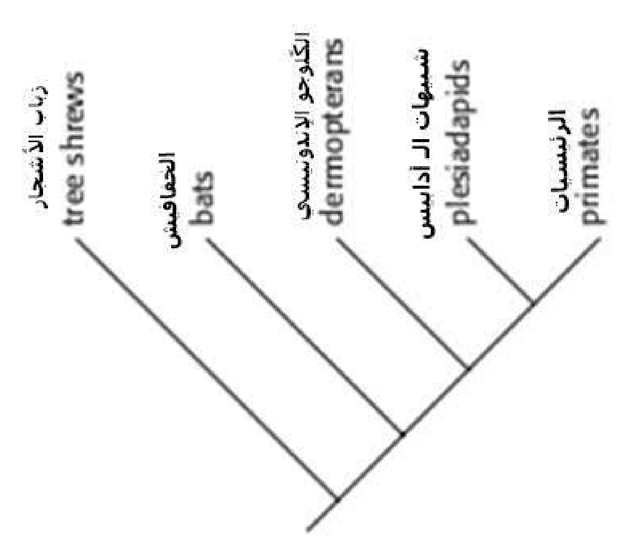
للرئيسيات الحية عيون كبيرة، متجهة إلى الأمام لإعطاء رؤية مجسَّمة ثلاثية الأبعاد ممتازة. لقد تطورت توليفة العيون الكبيرة والرؤية المجسَّمة في الرئيسيَّات _ كما تطورت على نحو مستقلٍّ في القططيَّات والبوم وخفافيش الفاكهة_ للمساعدة في البحث عن الطعام بالبصَر بدلًا من الشم، لأنه يسمح للحيوان بتحديد المسافة من الطعام بدون تحريك رأسه. تدعَمُ الرؤيةُ المُجَسَّمةُ الرشاقة والتنسيقَ، خاصةً عندما يكون الحيوان لديه يدان وقدمان متكيفان للإمساك والتعامل اليدوي الدقيق، ببطانات وأظافر بدلًا من البراثن والمخالب أو الحوافر. تُمَكِّنُ الأيدي والأقدام القادرة على الإمساكِ الرئيسيَّاتِ من البحث عن الطعام على الفروع الضَيقة، ومن الإمساك بالفرائس الحية أو الوصول إلى الطعام باليد أو اليدين بدلًا منْ أنْ يَكون ذلك بكامل الجسد والرأس. قارن _كمثال_ الهجمة الملتقَّة الخاصة بالثعابين مع هجمة اللسان الخاصة بالحرباوات والضفادع والعلاجيم [ضفادع الطين] (الصورة ١٩- ٢ لحرباء تصطاد)، فكلهم يقومون بنفس الشيء بطريقتين مختلفتين.



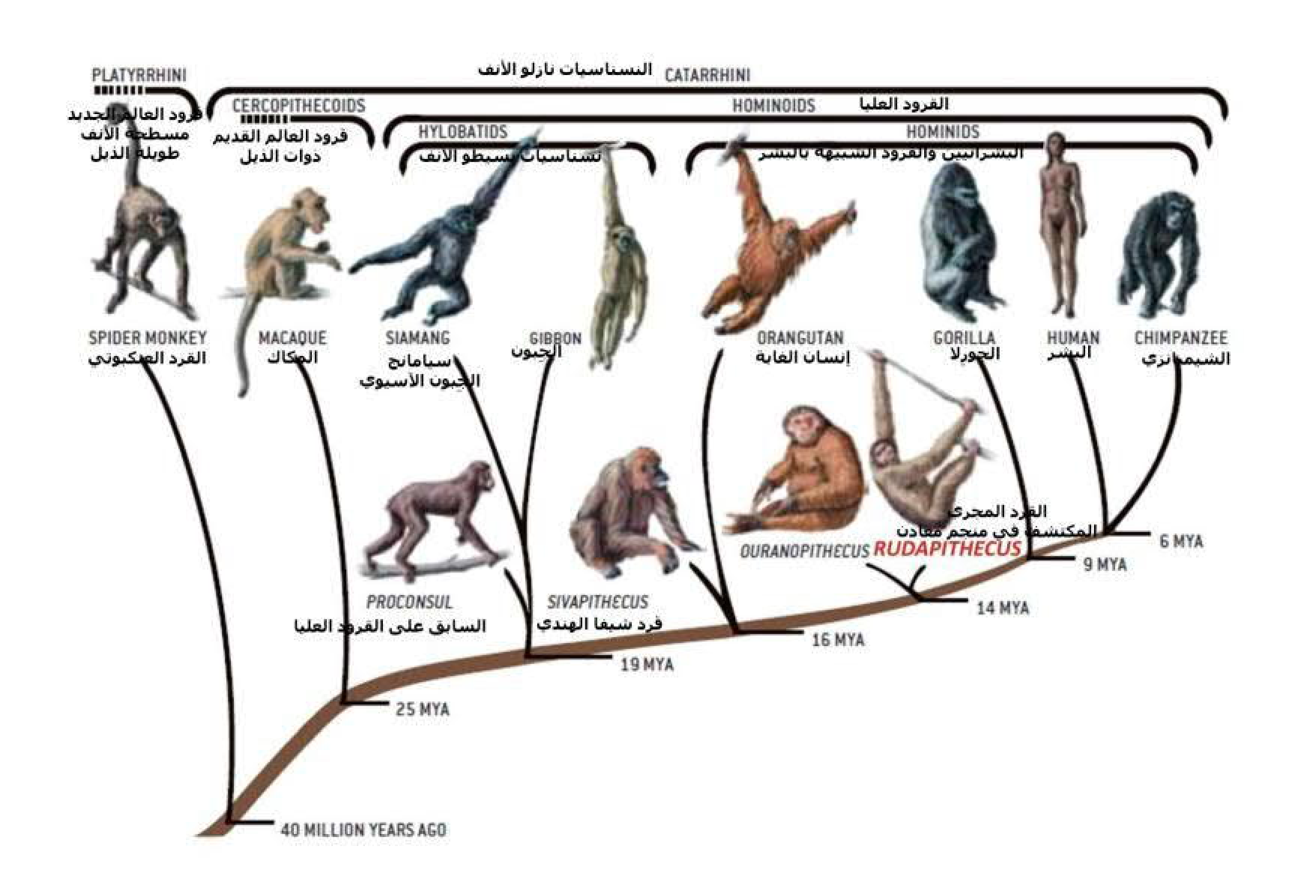
الصورة ١٩- ٢ حرباء تصطاد فريسة صغيرة رشيقة سريعة من الحشرات، بدون تحريك كامل جسدها، باستعمال حركة اللسان فقط.

تنمو أمخاخ أجنَّةُ الرئيسيَّات سريعًا بالنسبة لباقي الجسد، لذلك فهم يولَدُون ذوي أدمغة أكبر مقارنةً بالثدييَّات الأخرى. فترة الحمل طويلة بالنسبة لحجم الجسد، وللرئيسيَّات مواليدُ صغارٌ ينمُونَ ببطء ويعيشون لزمن طويل. تطوَّر في الرئيسيَّات قدرةٌ عالية على التعلُّم، وتفاعلاتٌ اجتماعيّة معقَّدة وفضولٌ غيرُ معتادٍ. إن تطوُّر الفضولِ مفيدٌ في البحث عن الطعام، وتساعد القدرةُ العاليةُ على التعلُّمِ والذاكرةُ والذكاءُ الأفرادَ على القيام باستجابات صحيحة في البيئة المعقَّدة الدائمة التغيُّرِ.

تُقَسَّمُ الرئيسيَات الحيّة في العادة إلى مجموعتين: حيوانات صغيرة الأدمغة صغيرة الأجساد تُدْعَى **بالقرود أو السعالي البدائيّة prosimians**، وأخرى من كبار الأدمغة نسبيًّا بالمقارنة ويُدْعَوْنَ **بالقرود الشبيهة بالبشر anthropoids** أو **الرئيسيَّات العليا** (القرود ذوي الذيل monkeys والقرود العديمي الذيل apes ومنها القرود العليا great apes والإنسان منهم). وتحتوي مجموعة القرود البدائيّة على فرعيين تطوريين، كلاهما لـه تاريخٌ تطوُّريٌّ طويل؛ وهما **التَّرْسِيريَّات tarsiers** الخاصة بجنوبيِّ شرق آسيا من جهة، **واللورِسِيَّات lorises** الخاصة بجنوبيِّ شرق آسيا وأفريقيا، **والليمورات أو حيوانات الهبَّار lemurs** الخاصة بمدغشقر من جهة أخرى (المخطَّط التطوري ١٩– ٣). يُرَجَّحُ للغاية أن اللورِسيَّات والليمورات مجموعة أفريقيَّة من الرئيسيَّات تمثِّلُ فرعًا تطوُّريًّا واحدًا، بينما تمثِّل التَّرْسيريَّات فرعًا آخرَ. والقرود الشبيهة بالبشر أو ذوات الشكل المشابه للبشر [الرئيسيَّات العليا] Anthropoids فرع تطوري. لكن هناك الكثير من الرئيسيَّات المبكِّرة المعروفة كمتحجرات التي تُشَوِّش الصورة التي لدينا عن تطور الرئيسيَّات المبكِّرة. وعلى وجه الخصوص، فإنه يُحْتَمَل لكنْ ليس واضحًا مؤكَّدًا بعدُ أنَّ التَّرْسِيريَّات tarsiers أوثقُ قرابةً تطوريَّةً إلى القرود الشبيهة بالبشر anthropoids أكثر مما هي لأي مجموعة أخرى، وإنه لغيرُ واضحٍ تمامًا المواضعُ المناسبة للكثير من مجموعات الرئيسيَّات المبكِّرة في هذا المخطَّط التطوري.



المخطط التطوري ١٩– ٣ مخطط تطوري لبعض مجموعات الثدييات القاطنة للأشجار: الرئيسيات وأقاربهم التطوريين. يُظْهِر هذا المخطط التطوري _وهو واحد من العديدين المحتمَلين_ الرئيسيات والـ plesiadapids [أو شبيهات adapis الأدابيس، أو الليمورات الأَوَلِيَّة البدائيَّة] كأقارب تطوريين وثيقين. ربما تتضمَّنُ الرئيسيَّاتُ شبيهاتِ الأدابيس plesiadapids. ولو كان الأمر كذلك، فسينبغي أن يكون هناك اسم للرئيسيات الذين ليسوا من شبيهات الأدابيس plesiadapids. لقد اقتُرِحَ اسم الرئيسيَّات الحقيقيّة Euprimates لهذه المجموعة.



طائفة الرئيسيات البدائية التي لا تزال حية (رئيسيات صغيرة الأدمغة نسبيًّا وتنشط ليلًا في معظمها)

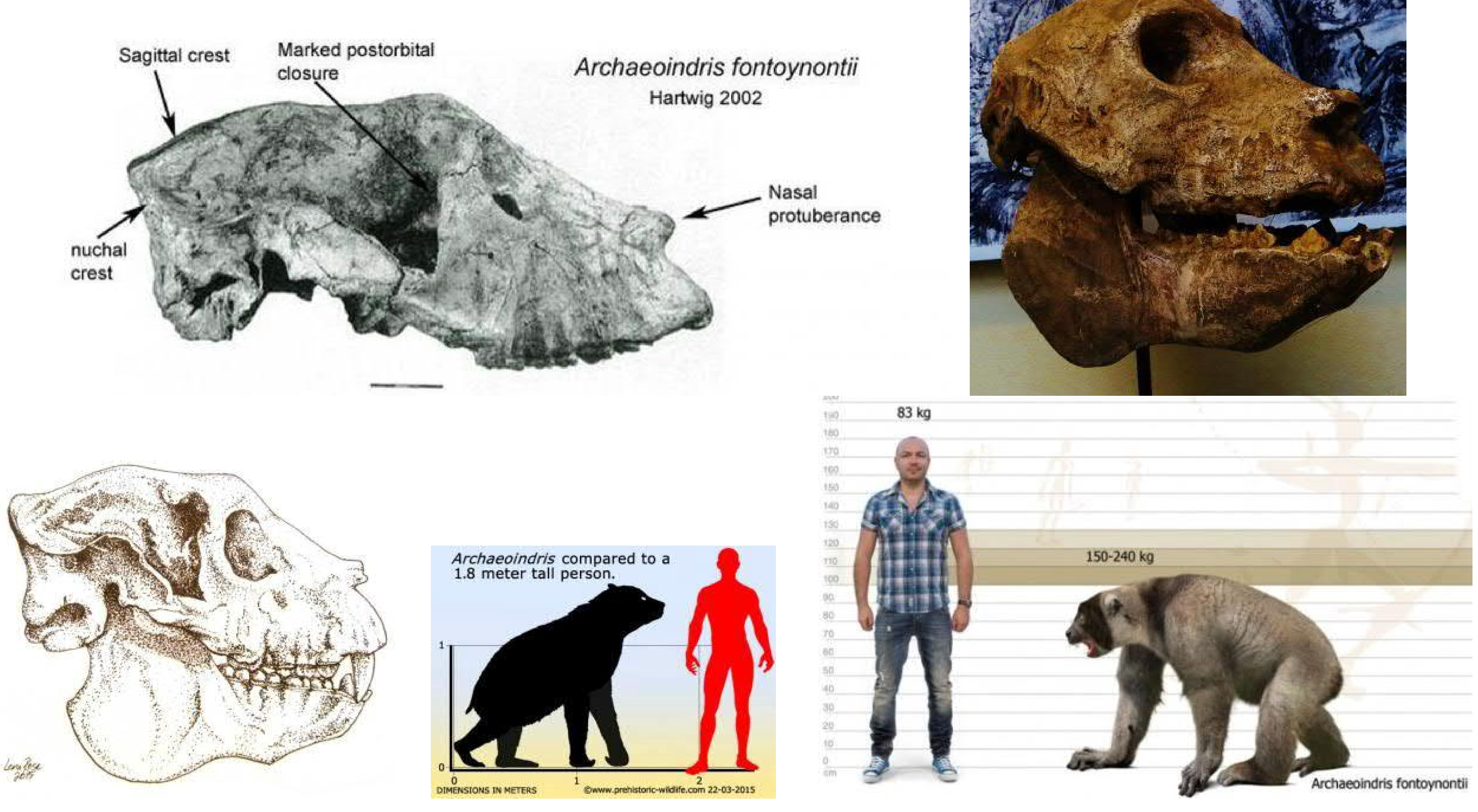
يقتصر وجود الليمورات [حيوانات الهبَّار] على مدغشقر، ولا بد أنه قد وصل إلى تلك الجزيرة من أفريقيا. تقترح أدلة علم البيولُجِي الجزيئي أن أسلاف الليمورات وصلَتْ مدغشقرَ منذ في عصر الباليوسين [الحديث الأقدم]، ولم تصل هناك أي رئيسات أخرى هناك حتى فعل البشرُ ذلك منذ حوالي ألفي سنةٍ ماضيةٍ. ازدهرت الليمورات على الجزيرة المُؤْوِيَة لهم. يعودُ سجلُ المتحجرات الواقعي الفعلي لليمورات في مدغشقر قِدَمًا إلى زمن المَيُوسين [الحديث

الأوسط] فقط، لكن هذا كافٍ لوجود التشعب المذهل الموثَّق لليمورات إلى ٤٥ نوعًا على الأقل على الجزيرة، متكيفةً على تنويعة كبيرة من طرق الحياة [الاعتياش].

إن الليمورات الأحياء المعاصرين متخصِّصون في التعلُّق والتسلُّق العموديّ (الصورة ١٩- ٤) والقفز، واللذان يُستَعْمَل فيهما الطرفانِ الأماميَّانِ للتعامل الدقيق باليدين وللإمساك وللتأرجح، بينما الطرفان الخلفيّان قويّان للدفع. معظم الليمورات متوسطو الأحجام (يزن الواحد منهم أرطالًا قليلة)، وهم قارِتون [آكلون للنباتات والحشرات واللحوم]، ويأكلون الفواكهَ وأوراقَ الأشجارِ. قليلٌ من الليمورات صغار الأحجام؛ فيزن "الليمور الفأر" مثلًا ٥٠ جرامًا فقط أو نحو ذلك (حوالي أوقيَّتين). أما أكبر ليمور فكان Archaeoindris [الليمور العتيق الضخم، الإندري العتيق] الذي وصل وزنه إلى حوالَيْ مئتي كجم، بحجم الجوريلا، وانقرض منذ زمنٍ قريبٍ فقط، ولا بد أن بالغيه كانوا قاطنين للأرض. كان الليمور المنقرض المكتشَف مؤخَّرًا Palaeopropithecus [السيفاكا العتيق الأحفوري، الليمور العتيق البطيء كالكسلان] متكيِّفًا للتحرك ببطء في المظلة الشجرية بنفس طريقة حيوانات الكسلان الجنوبيّ أمرِكِيَّة، بينما كان Megaladapis [الليمور الكبير الحجم] على الأرجح أشبه في إيكولُجيَّته [طريقة حياته] بالكوالا الأسترالي.



الصورة ١٩- ٤ الليمور الأسود، رئيسيٌّ بدائيٌّ حيّ من مدغشقر.



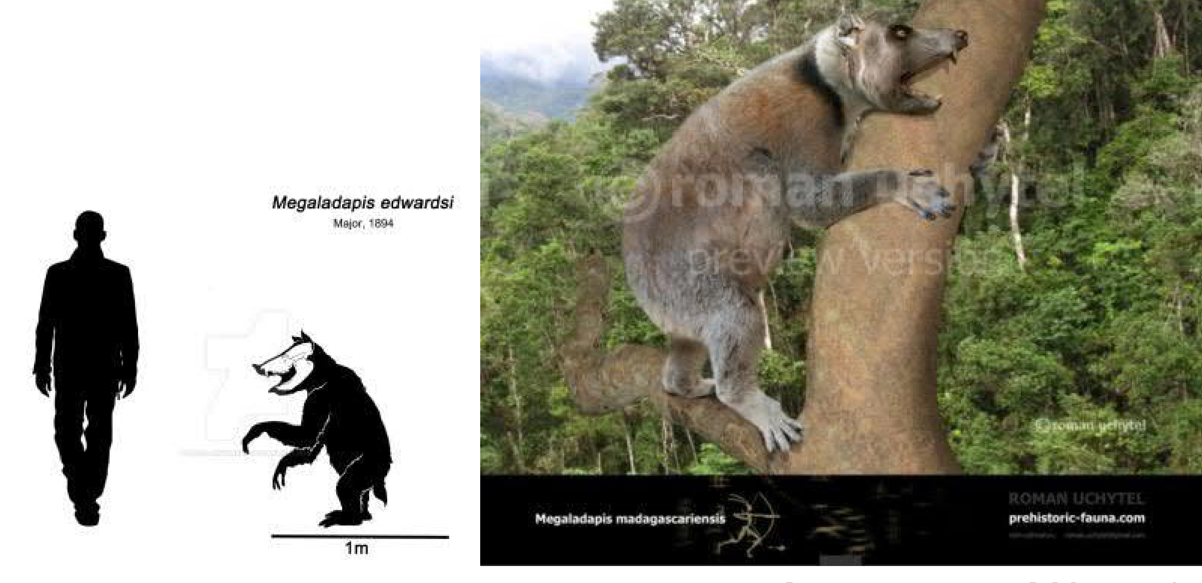
Archaeoindris [الليمور العتيق الضخم]




Palaeopropithecus [السيفاكا العتيق الأحفوري، الليمور العتيق البطيء كالكسلان]



الليمورات البطيئة كحيوان الكسلان العتيقة Palaeopropithecidae





Megaladapis [الليمور الكبير الحجم]

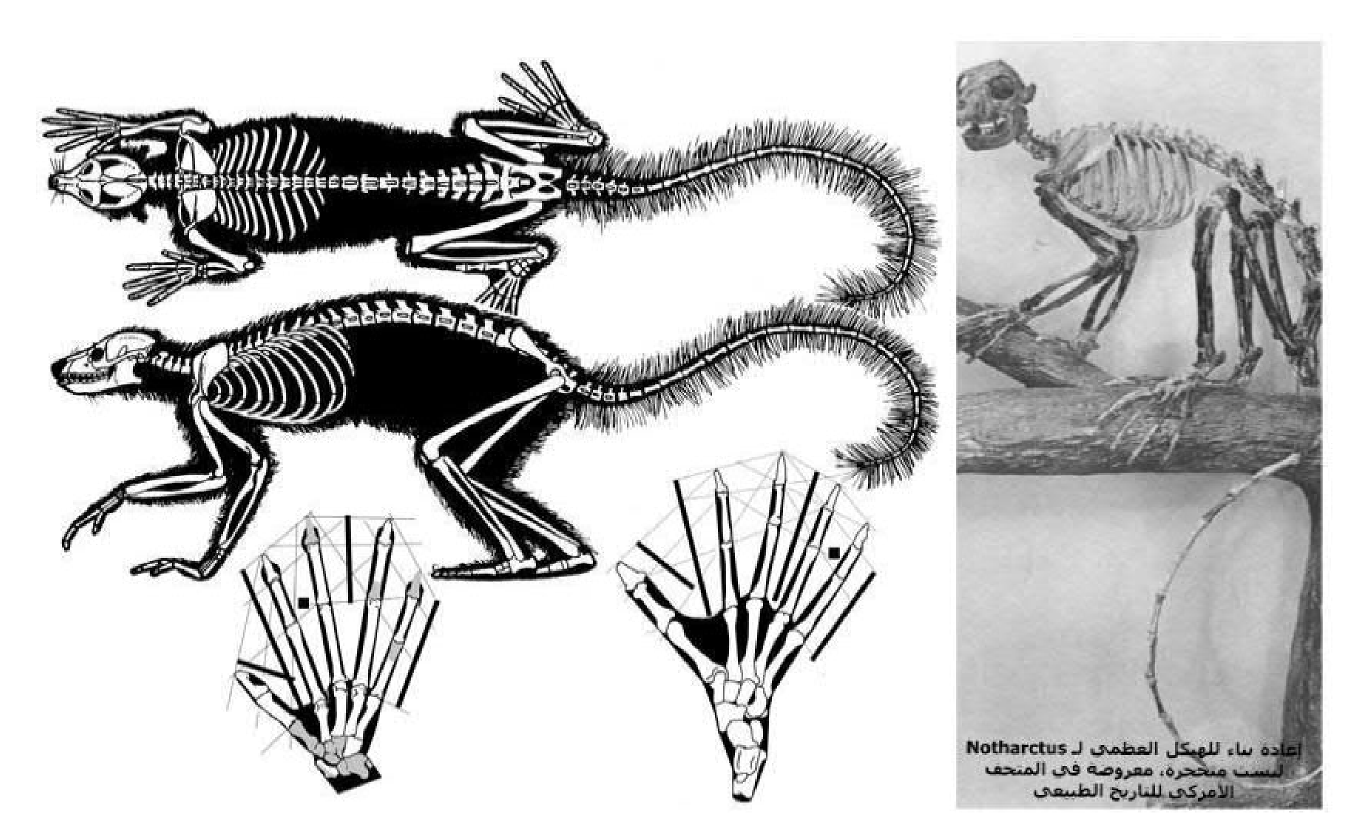
أما اللوُرِسيَّات وbush-babies [الجَلاجو، الناجابيز، القرود الأفريقية الصغار الأحجام القاطنو الأشجار، صغار أو أطفال الأشجار] فهم صائدون ليليُّون للحشرات صغار الأحجام بطيئو الحركة. تعيش اللورِسيَّات في الغابات الاستوائية في أفريقيا وجنوبيّ شرقِ آسيا، بينما يقتصر وجود القرود من نوع صغار الأشجار على أفريقيا.

على النقيض، فإن التَرْسِيريَّات رئيسيَّات صغار الأحجام رشيقون متكيِّفون لأكل الحيوانات الصغيرة الأحجام والحشرات. لا يزالون على قيد الحياة في العصر الحالي في جنوبيّ شرق آسيا فقط، لكنهم كانوا أوسعَ انتشارًا في الماضي. من الناحية الجوهريّة وعمليًّا، فإن التَرْسيريَّات متحجراتٌ حيَّةٌ، لهم أسلاف محتمَلون من دهر الحياة الحديثة المبكِّر والذين يبدو أنهم كانوا لهم نفس التشريح وطريقة الحياة تقريبًا. لقد تباعدوا تطوريًّا عن القرود الشبيهة الشكل بالبشر (القرود ذوي الذيل والقرود العديمي الذيل ومنهم العليا كالشيمبانزي والبونوبو وأوانج تان والجورِلَا) منذ زمن طويل للغاية لدرجة أن المجموعتين تتشاركان القليل من التشابه فقط في العصر الحالي.

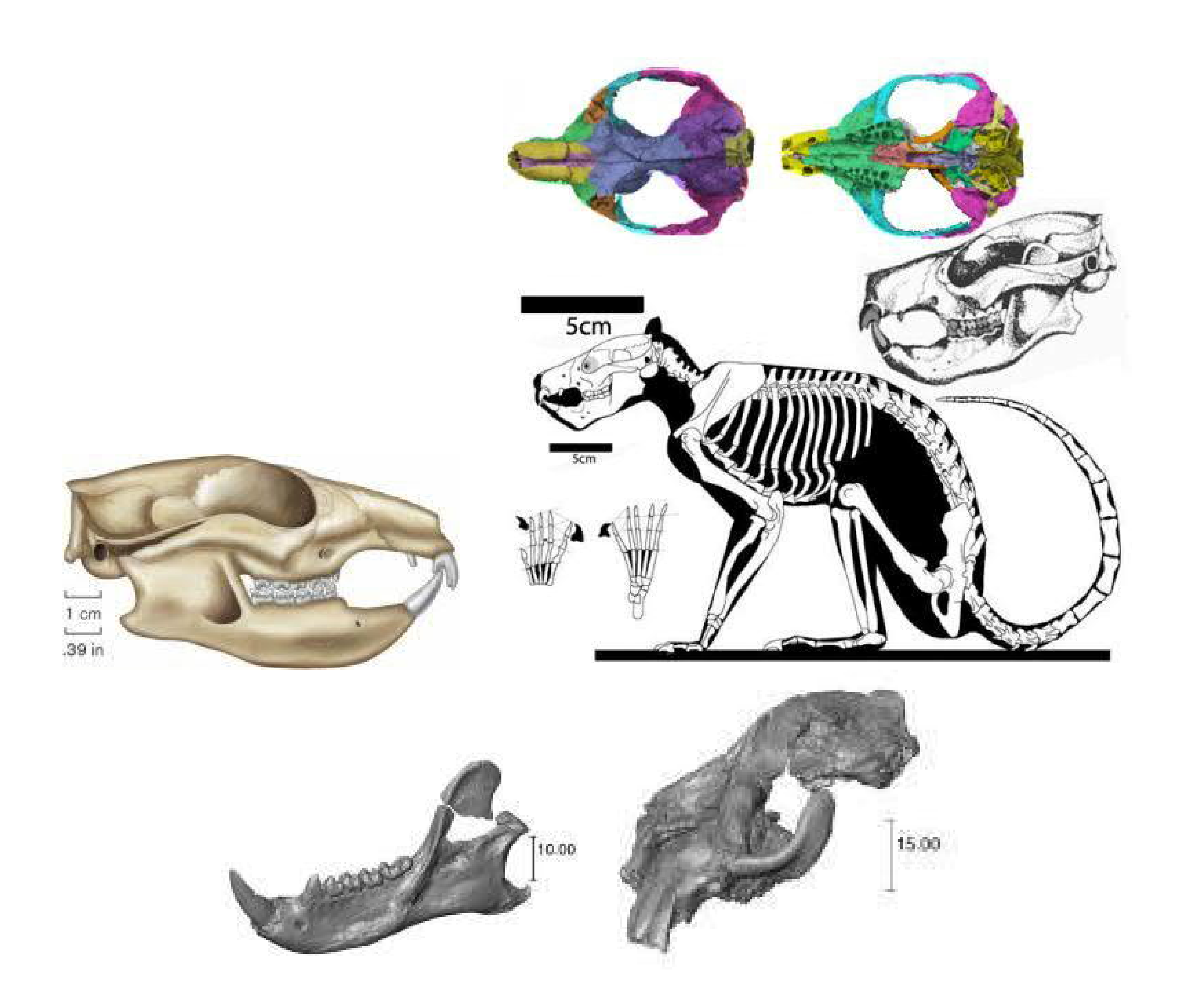
الرئيسيات الأقدم

أفضل الرئيسيات المبكرة معرفةً بها لدينا هي plesiadapids أي: شبيهات أدابيس adapis [نوع آخر من الرئيسيات البدائية]، وهي مجموعة هامة من الحيوانات وُجِدَت على نحو رئيسي في أمِركا الشمالية وأورُبا في عصر الباليوسين [الحديث القديم] (الصورة ١٩– ٥ لأحد أنواعها). كانت plesiadapids شبيهات أدابيس الأكبرُ حجمًا ثقيلة البُنيَة، شبيهةً بالسناجب وحيوانات المرموط، وذوات أدمغة صغيرة وعيون صغيرة، وأسنان متكيِّفة لقص النباتات (الصورة ١٩– ٦). ولأن plesiadapids شبيهاتِ أدابيس بدت وعلى الأرجح عاشت مثل القوارض الكبيرة الأحجام، فلا بد أنها تنافست إلى حدٍّ ما مع multituberculates متعددات الحديبات السنية الخاصة بعصر الباليوسين [الحديث القديم] (راجع الفصل ١٥).



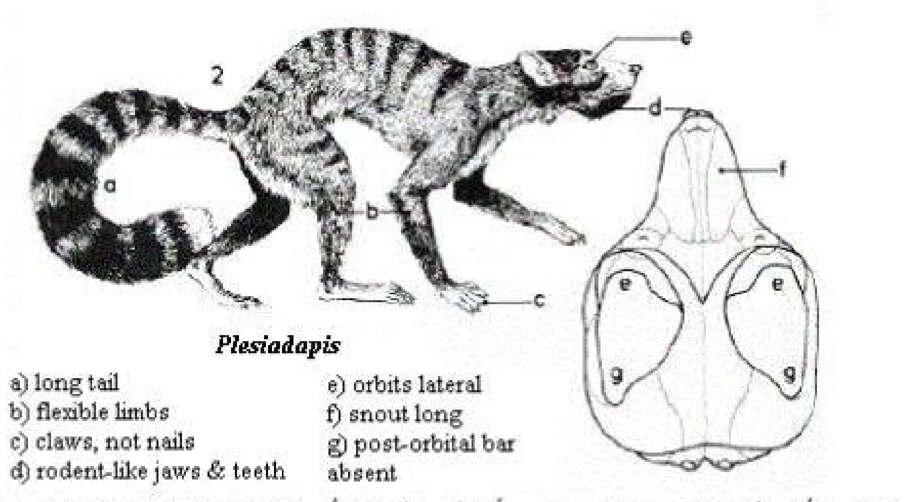


الصورة ١٩– ٥ Notharctus [شبيه أدابيس الطويل الرجلين والذيل]، وهو شبه أدابيسيٍّ [ليمور بدائي] من عصر الإيوسين [فجر الحديث] في أمِركا الشمالية. لقد كان له على الأرجح إيكولُجِيَّة مشابهة للخاصة بأقاربه الأحياء، وهم الليمورات. ومثل الرئيسيات النباتية الأخرى، كان Notharctus صغير الدماغ (بالنسبة لرئيسي).



Plesiadapis cookei

الصورة ١٩– ٦ جمجمة شبيه أدابيس plesiadapid نمطية وهم أحد تشعبات الحيوانات الشبيهة بالرئيسيات المبكرة [رئيسيات الشكل] والتي تضمنت حيوانات ذوات إيكولِجية شبيهة بالخاصة بالقوارض.

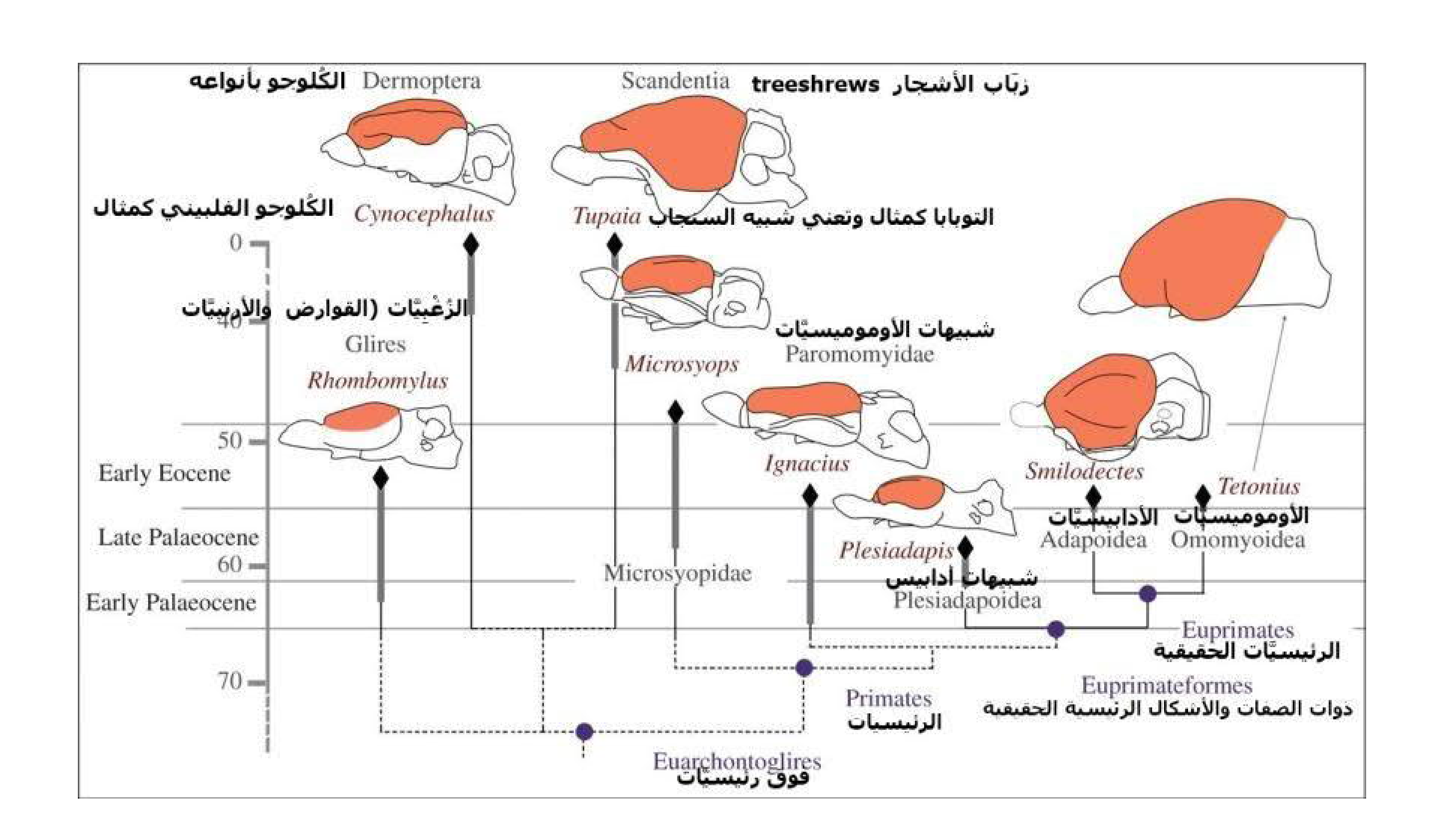


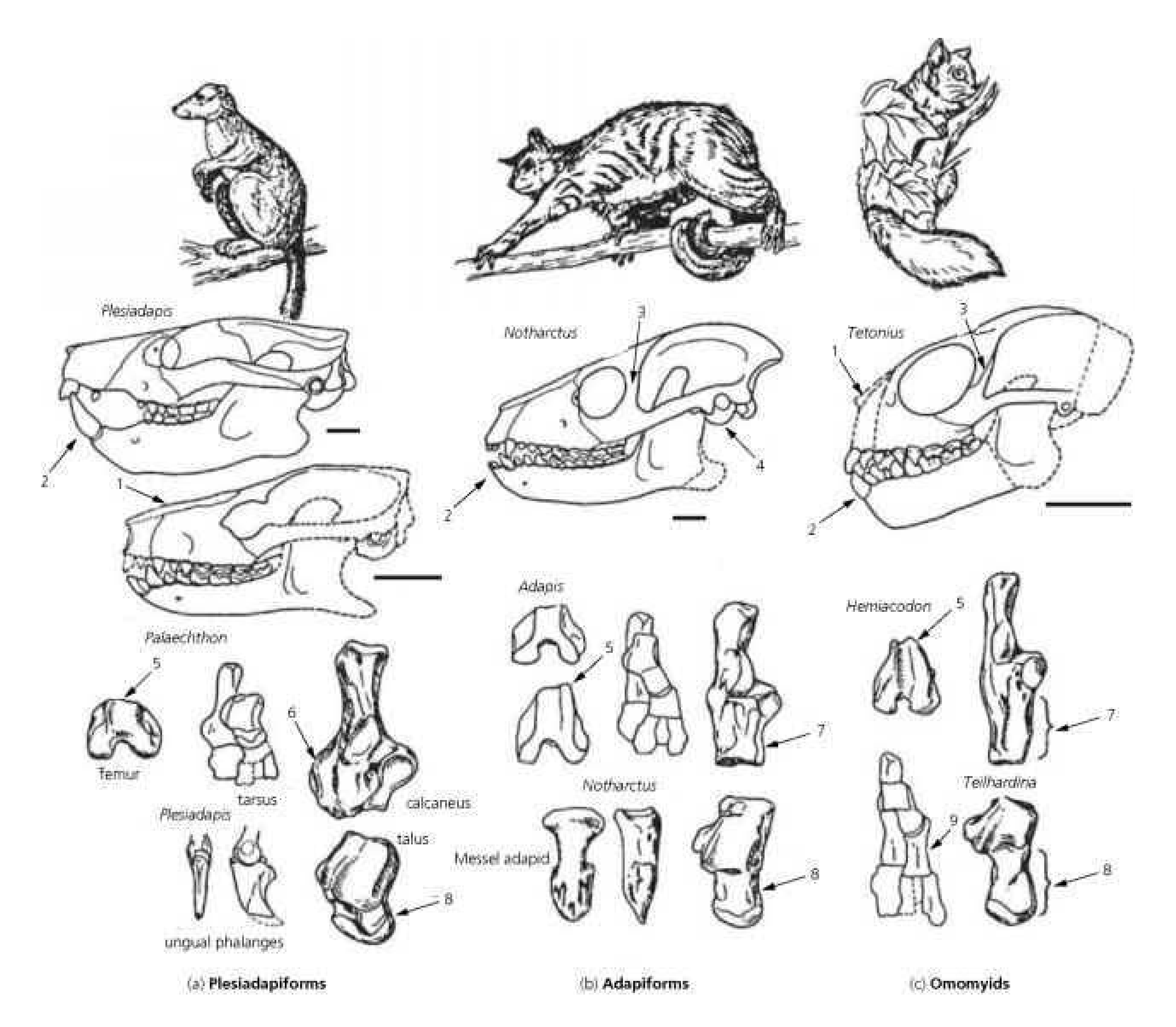
ذيل طويل، وأطراف مرنة، ومخالب وليس أظافر، وفكان وأسنان شبيهة بالخاصة بالقوارض ومحجرا عينين جانبيي التموضع، وخطم طويل وعدم وجود العارضة أو الفراغ وراء المحجر.



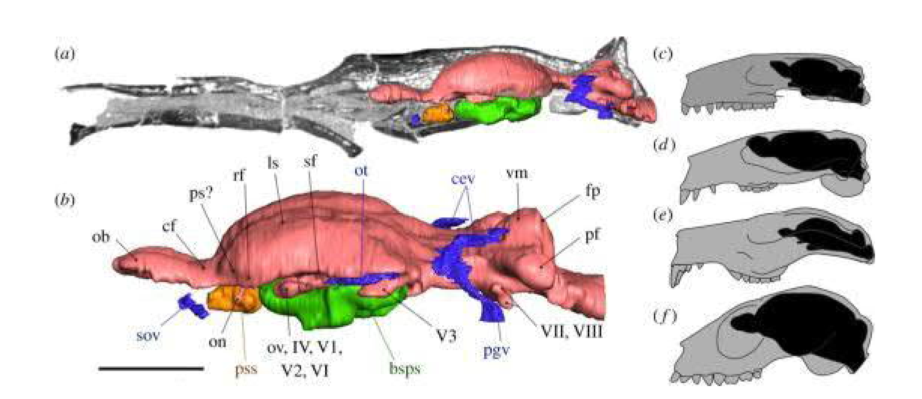
مقارنة أدمغة 3 رئيسيات منقرضة مع الليمور الفأر وليمور الإندري الشائع أحد أكبرها

يعتقد معظم العلماء أن plesiadapids شبيهات الأدابيسيَّات أو شبيهات أدابيس لم يتحدَّرْ عنها أي مجموعات متحدِّرة. رغم ذلك، فبعض أواخر شبيهات الأدابيسيَّات plesiadapids تطوَّر فيها بعض السمات التي توجد في أيضًا في الرئيسيَّات الحقيقيّة euprimates؛ فقد كان لـ Carpolestes من شبيهات أدابيس plesiadapid يدان وقدمان قادرتان على الإمساك، وكان للإصبع الكبير ظفر (مثل الرئيسيَّات الحقيقية) بينما كان لباقي الأصابع الأخرى مخالب (مثل الأدابيسيَّات أو شبيهات أدابيس الأخرى). لكن Carpolestes لم يكن لديه رؤية مجسَّمة، وكما يبدو لم يكن يقفز. إن كانت فصيلة carpolestids الكاربوليستيدات هي شبيهات الأدابيسيَّات plesiadapids التي تطورَّتْ إلى الثدييّات الحقيقية euprimates، فإنها تكون قد فعلَتْ ذلك في عصر الباليوسين [الحديث القديم] وفي آسيا، لأن Carpolestes وكل شبيهات الأدابيسيَّات plesiadapids الشمالي أمِرِكِيّة الأخرى انقرضت عند نهاية عصر الباليوسين، كما يبدو بسبب التنافس مع القوارض والرئيسيَّات الحقيقيّين الذين وصلوا من آسيا.



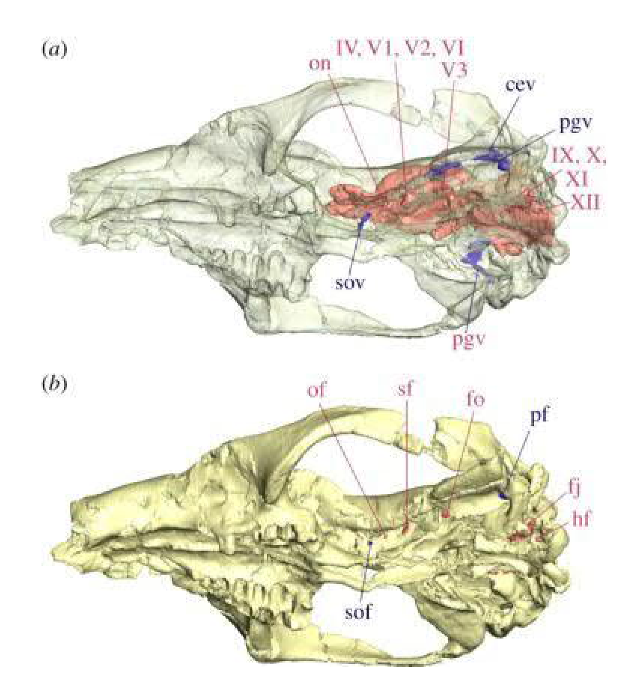


اختلافات الهيكل العظمي الرئيسية بين (أ) شبيهات أدابيس و(ب) الأدابيسيات و(ج) الأومومبسيات. تقارن الرسوم السفلية بين سمات عظم الفخذ القاصي أو الوحشي والترص أو الترس السفلي tarsus (الكاحل مع العظمتين العقبية calcaneus والكاحلية الداعمة للظنبوب أو عظم الساق talus) وعظام السُلامى الظفرية للأصابع (العظام الطرفية للأصابع). إن الرسم في (أ) هو إعادة بناء لـ Plesiadapis، ما عدا الجمجمة السفلية فهي لـ Palaechthon. أما التي في الرسم (ب) فهي على نحو رئيسي لـ Notharctus، ما عدا عظم الفخذ الأعلى فهو للنوع أدابيس Adapis، وعظم السُلامى الظفري هو لنوع أدابيسي adapid غير متعرف عليه. وفي الرسم (ج) جمجمة وإعادة بناء لـTetonius، والرسوم السفلية اليسار هي لـHemiacodon، والرسوم السفلية اليمنى هي لـTeilhardina . تشير الأسهم إلى سمات كل مجموعة. والتي تتضمن في الجمجمة: ١- طول الخطم، ٢- حجم وشكل القواطع (الأسنان القوادم)، ٣- وجود فراغ خلف محجري postorbital bar، ٤- بنية الفقاعة العظمية السمعية auditory bulla، وتتضمن سمات ما بعد الجمجة والرأس: ٥- تركيبة الثلم أو الأخدود الرضفي patellar groove (سطح المفصل على عظم الفخذ القاصي أو الوحشي الخاص بالرضفة patella أو غطاء الركبة، ٦- حجم الحديبة العقبية الشظوية calcaneal peroneal tubercle (ناتئ أو بروز فوق عظمة العقب)، و٧- الاستطالة القاصية لعظام الكاحل، عظم العقب، و٨-عظم الكاحل الداعم لعظم الظنبوب talus، و٩- العظم الزورقي الخاص بالقدم navicular.



قحف جمجمة الجنس [النوع] بليسيأدابيس أو شبيه أدابيس (العينة رقم MNHN CR 125) مع مقارنة بموضع القحف في شبيهات أدابيس والرئيسيات الحقيقية الأخرى.

Endocast of Plesiadapis tricuspidens (MNHN CR 125) and comparison with the location of the braincase in other plesiadapiformes and euprimates. (a) Parasagittal slice showing in situ three-dimensional reconstructions of endocranial structures near the midsagittal plane. (b) Labelled lateral view of the endocast, surrounding elements of the venous drainage system and sphenoidal sinuses (scale bar, 1 cm). (c–f) Lateral views showing the location and extent of the braincase of (c) Microsyops annectens, (d) Ignacius graybullianus, (e) P. tricuspidens and (f) Tetonius homunculus. bsps, basisphenoid paratympanic sinus; cev, capsuloparietal emissary vein canal; cf, circular fissure; fp, fissura prima; ls, lateral sulcus; ob, olfactory bulb; on, optic nerve; ot, orbitotemporal canal; ov, ophthalmic vein; pf, paraflocculus; pgv, postglenoid vein canal; ps, presylvia; pss, presphenoid sinus; rf, rhinal fissure; sf, sylvian fossa; sov, suboptic vein canal; vm, vermis. Numbers IV–XII refer to cranial nerves; V1–V3 refer to different branches of nerve V.



الثقب الحجاجي الوتدي في (Plesiadapis tricuspidens (MNHN CR 125، بعد إعادة بناء لممرات الأعصاب القحفية (ملونة بالأحمر) والأوردة (بالأزرق)، fj الثقبة الوداجية، fo الثقبة البيضاوية، hf الثقبة تحت اللسانية، of الثقبة البصرية، pf الثقبة خلف الحقية، sf الشق الوتدي الحجاجي، sof الثقب تحت البصري، وباقي الرموز كما في الصورة السابقة.

بدأت الأبحاث مؤخَّرًا تركِّز على الصين بحثًا عن التشعُّب المبكِّر للرئيسيَّات، وخاصةً خط تحدُّر الرئيسيات الحقيقية، وأسلاف القرود المتطورة الشبيهة الشكل بالبشر anthropoids أو المعروفة بالرئيسيَّات العليا (القرود، والقرود العليا كالشيمبانزي والبونوبو والجورِلَا والأورانج تان إنسان الغابة). ربما تكون القرود الشبيهة بالبشر anthropoids قد تطوَّرَتْ من رئيسيات حقيقية euprimates في شرق آسيا.

كما قد علمنا (في الفصل ١٧)، فقد سمح حَدَثُ دفءٍ مناخيٍّ عند نهاية عصر الباليوسين [الحديث القديم] للحيوانات الآسيوية بالوصول إلى أمِرِكا الشمالية. ضمن الرئيسيات التي وصلت كانت الأومومَيسيَّات omomyids[1] والأدابيسيَّات adapids. تضمنَّتْ الأدابيسياتُ الجنسَ [النوعَ] Diacronus من صخور عصر الباليوسين [الحديث القديم] في جنوبيِّ الصين، وهو سلف معقول محتمَل لـ Cantius من غربيِّ أمِرِكا الشمالية. بدت الأدابيسيَّات Adapids مثل ليمورات صغار الأحجام من جهة بنية أطرافها، وهم ذوو قرابة تطورية إلى الليموات. ويُحْتَمَل أنهم تحركوا بنفس طريقتها (انظر الصورة ١٩– ٥). تطوَّرَتْ الكثيرُ من الأدابيسيَّات adapids باتجاه أحجام أجساد أكبر وتحولت من صائدة ومطاردة للحشرات على فروع الأشجار إلى نوع حركة متأرجحة وقافزة، وإلى نظام غذائي محتوٍ على مواد نباتية أكثر وكذلك حيواناتٍ مفترَسَة [فرائس]، مع شيءٍ من أكل الفواكه وأوراق الأشجار. كانت الأومومَيسيَّات Omomyids آكلات حشرات صغيرة الأحجام نشيطة تنشط وتعتاش ليلًا في الغابات (الصورة ١٩– ٧). وقد كانوا من حيث الإيكولُجِيَّة شبيهين على الأرجح بالتَرْسِيريَّات tarsiers [منسوبة إلى الترسير أو الترسيس]، ومن جهة التطور فقد كانوا على الأرجح قريبين من قاعدة التفرع التطوري (منبت التباعد التطوري) الخاص بالقرود ذوات الشكل الشبيه بالبشر anthropoid (القرود والقرود العليا كالشيمبانزي)/ والترسير tarsier (المخططان التطوريان ١٩– ١ و١٩– ٨). كان Eosimias [يعني اسمه قرد فجر التاريخ، وسنترجمه إلى شبيه التَرْسير] _من عصر الإيوسين [فجر الحديث] الأوسط في الصين_ ضئيلًا بنفس حجم أصغر قرد شبيه الصفات بالبشر anthropoid تقريبًا، وهو قرد القِشّة marmoset القزم الخاص بأمِرِكا الجنوبية. وعلى أساس عينة متحجرة غير كاملة له، فقد ادُعِّيَ أن Eosimias أقدم وأكثر القرود الشبيهة السمات بالبشر anthropoid بدائية مكتشَف حتى الآن؛ إلا أن حججًا مضادَّة قوية تقترح أنه كان ترسيرًا أو قريبًا تطوريًّا لصيقًا من التَرْسِير [التَرْسِيس]، وبالتالي ليس له علاقة بأسلاف القرود المتطورة ذوات السمات الشبيهة بالبشر anthropoid. لم يصل كائن حي مثل Eosimia [نترجمه الآن إلى شبيه الترسير] إلى أمِرِكا الشمالية، على حد علمنا.

[1] الأومومَيسيَّات omomyids: منسوبة إلى أحد آجناسها وهو Omomys. والأومميسيات فصيلة من الرئيسيات المبكرة البدائية انتشرت هي والأدابيسيات في أمركا الشمالية وأورُبا وآسيا في عصر الإيوسين، وهما أبكر رئيسات مصنفة على أساس مفهوم الإكليل أو الفروع التطورية الناشئة. كانوا صغار الأحجام كبار الأعين ولَيليي الاعتياش على الأرجح ما عدا جنساً أو نوعاً واحداً هو (Rooneyia الذي كان صغير محجري العينين، آكلي حشرات وفواكه، ثم آكلي فواكه وأوراق شجر لاحقًا في تطورهم. كان لهم أيدي وأرجل قادرة على الإمساك بالأشياء وأصابع ذوات أظافر وليس مخالب، تدل سماتهم الهيكلية بقوة على أنهم كانوا يعيشون في الأشجار. كانت بعض سماتهم الهيكلية بدائيةً مقارنةً بالرئيسيات الحقيقية.

Evolution of Primates

Tetonius, an early primate of the Early (warm) Eocene, Western North America

Similar to present day lemurs of Madagascar

Cooling through the Cenozoic limited their range to Africa

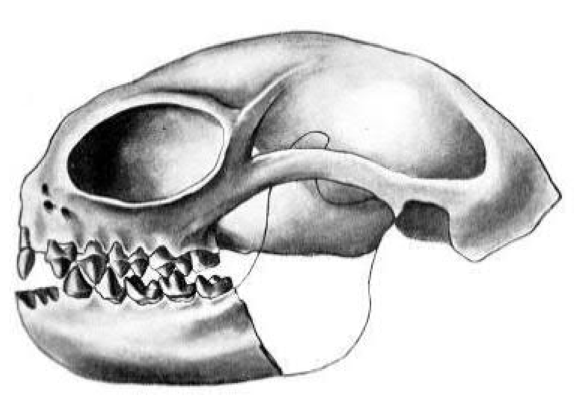
Fossils are rare due to their upland existence

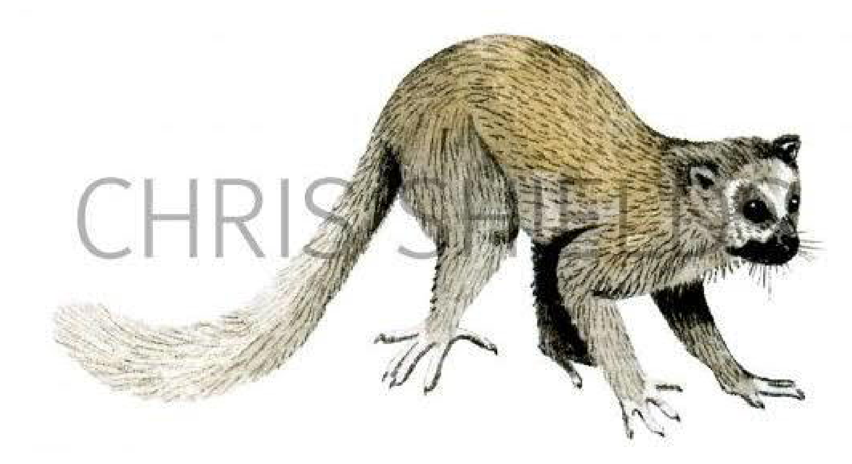




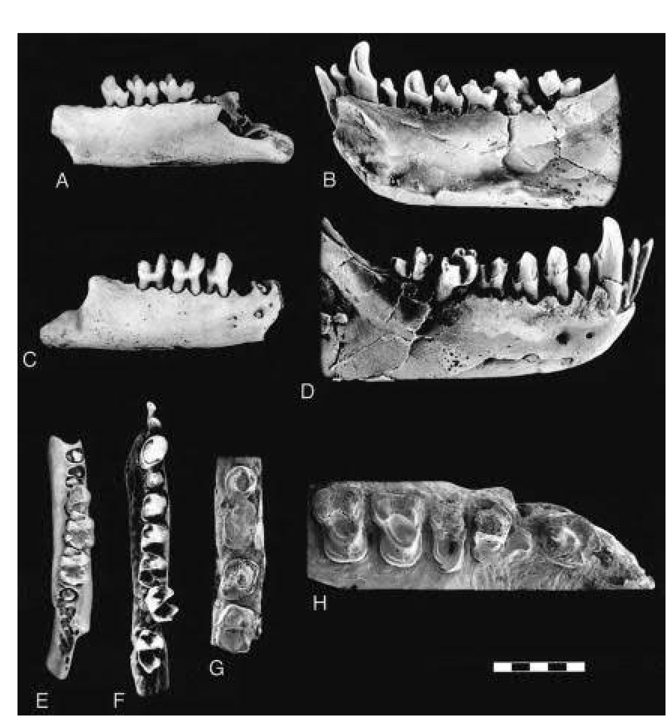
الصورة ١٩– ٧ إعادة بناء للأومويسيِّ omomyid الصغير الحجم من عصر الإيوسين [فجر الحديث] Tetonius، من أمِركا الشماليَّة، وقد كان حيوانًا شبيهًا بحيوان التَّرْسِير [الترسيس من الرئيسيَّات] نشيطًا وليليَّ الاعتياش. رسم Kibiuk، تحت إشراف K. D. Rose (الصورة اليمنى)

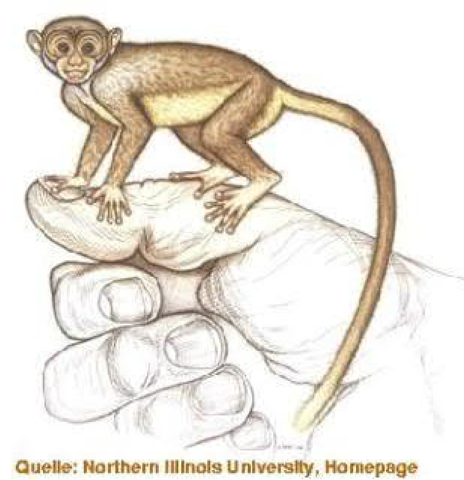






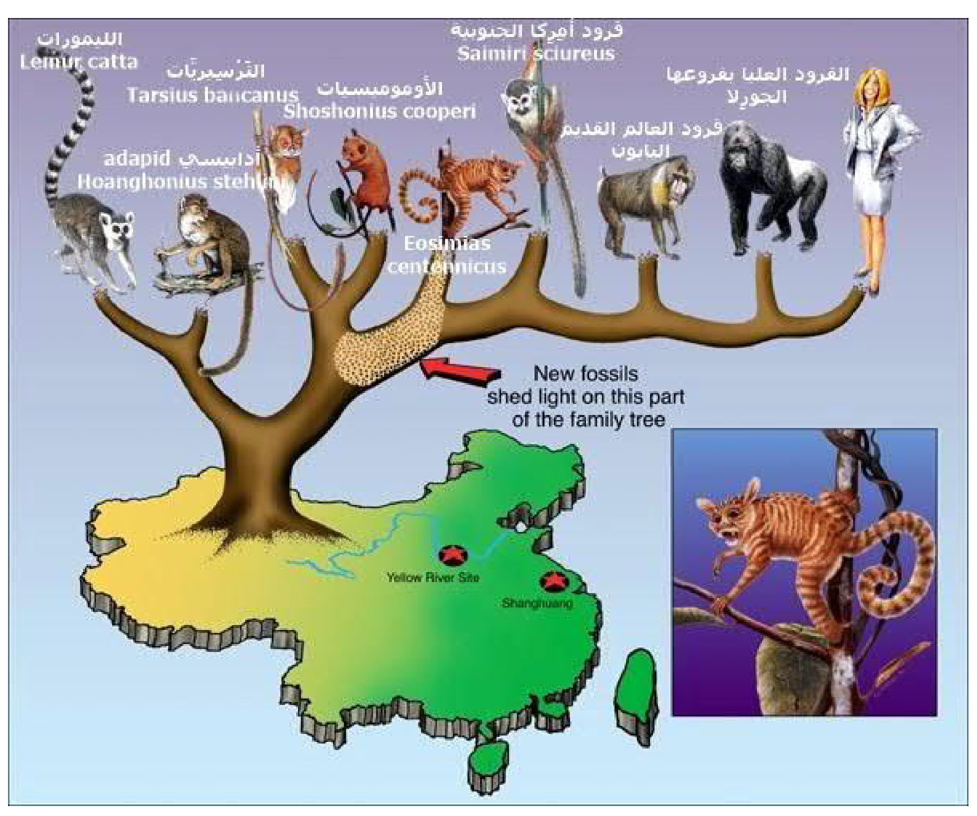
Tetonius







Eosimia شبيه الترسير



إحدى الأشجار التطورية المحتملة لـ Eosimia

برُدَتْ القارات الشمالية ببطء بينما كانت تنجرف باتجاه الشمال خلال عصر الإيوسين [فجر الحديث]. وفي آخر الأمر، عند نهاية عصر الإيوسين، اندثرت الرئيسيَّات من خطوط العرض الشَمالية. وصلت الأدابيسيَّات اللاجئة إلى جنوبي شرق آسيا في عصر الإيوسين [فجر الحديث] المتأخر، لكنَّ السمات "الخاصة أو المماثلة للخاصة بالقرود المتطورة الشبيهة بالبشر anthropoid" التي امتلكها البعضُ منهم تطوَّرت فيهم على نحوٍ مستقلٍ على الأرجح في تلك المنطقة، ويبدو أنهم انقرضوا بدون أي متحدِرين تطوُريّين. وبحلول عصر الأُلِجوسين [الحديث اللاحق]، لم يكن هناك تقريبًا وعمليًّا أي رئيسيات في القارات الشمالية.

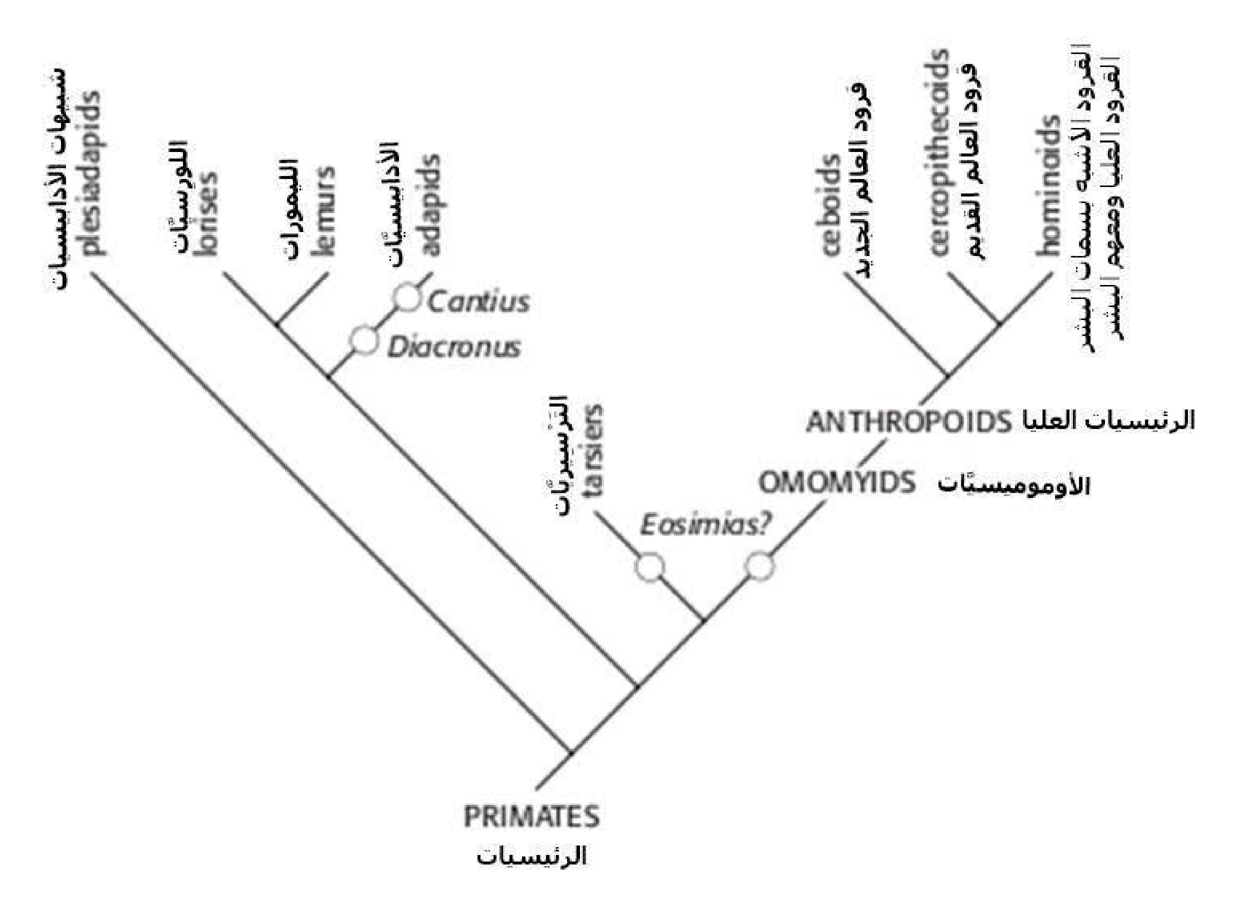
نشأة القرود الشبيهة السمات الخاصة بالبشر anthropoids أو الرئيسيَّات العليا (القرود، والقرود العليا كالشيمبانزي والبونوبو والأورانج تان إنسان الغابة والجورِلا والإنسان)

لقد تطوَّرَتْ الرئيسيَّات العليا الحيَّة _أو القرود الشبيهة السمات بالبشر (القرود والقرود العليا والإنسان)_ إلى تنوعٍ من طرق الاعتياش والمواطن والتي تمتدُّ من الجورِلات [الغوريلّات] النباتية الضخمة إلى قرود القِشّة [أو المَرموزِتْ marmosets أو zaris] الضئيلة الماضغةِ الصمغَ الجنوبيّ أمِركِيّة. كان العديد من رئيسيات عصر الإيوسين [فجر الحديث] ماهرين في التسلق بأربع أقدام والقفز من فرع إلى آخر في عالمٍ ثلاثيّ الأبعاد، مستعمِلين مسكةً متقنةً باليدين والقدمين للإمساك بالفروع الصغيرة والتعلق بها (الصور في ١٩- ٦ و١٩- ٧). لقد تطوَّرَتْ كل الطرق المختلفة التي تتحرك بها حيوانات الليمور والقرود وقرود الجِبون [الجيبون] والقرود العليا والبشر من هذا النمط العام الذي تشاركته الرئيسيَّات المبكِّرة. بالتأكيد، هذا لا يساعدنا على تحديدِ أيِّ الرئيسيَّات من عصر الإيوسين كانت أسلاف الرئيسيات العليا [القرود الشبيهة الشكل والسمات بالبشر] anthropod.

يمكن أن يكون التأرجح والتنقل باستعمال الذراعين الخاص بقرود الجِبُون [الجيبون] قد نشأ من خلال التركيز على الذراعين في الحركة. وربما يكون التسلق المتأنّي باستعمال الأطراف الأربعة الخاص بقرود الأورانج أوتان (إنسان الغابة) على الأشجار، ورشاقة القرود، والمشي المتثاقل والتسلق الخاص بالقرود العليا الأثقل وزنًا، وهرولة قرود البابون [الرُبَّاح] على الأرض، كلٌ منها قد تطوَّر في إطار استعمال كل الأطراف بالتساوي. ربما يكون المشي والجري على قدمين اثنتين الخاص بالقرود البَشَرانِيَّة الجنوبيَّة australopithecines والبشر [البشريّين: البشر وكافة أنواع أسلافهم وأقارب أسلافهم من بشريين Homo] قد تحقَّقَ في إطار التركيز على دور الطرفين الخلفيين في الدفع القويّ وعلى الطرفين الأماميين في الإمساك بالأشياء والتعامل معها.

تُقسَّم الرئيسيَّات العليا أو القرود الشبيهة السمات بالبشر anthropoids الحَيَّة إلى ثلاث مجموعات تطورية؛ وهي: قرود العالَم القَديم cercopithecoids [معنى الاسم القرود ذوات الذيل]، وقرود العالم الجديد ceboids [معنى الاسم القرود الطويلة الذيول]، والقرود الأشبه بسمات البشر hominoids (القرود العليا المعروفة بالإنسانيَّات كالشيمبانزي والبونوبو والأورانج أوتان إنسان الغابة والجورِلا ومعهم البشر وأسلافهم وأقاربهم التطوريون، والجِبون الغير علوي معهم)، والتي تتضمن قرود الجِبون والقرود العليا والبشر (المخطط التطوري ١٩- ٨). وبصرف النظر عن Eosimias [القرد البدائي أو شبيه الترسير]

وبعض المتحدِّرين المحتمَلين في جنوبيّ شرق آسيا، فكل الأدلة الأخرى تشير إلى عصر الإيوسين [فجر الحديث] في أفريقيا على أنهما الزمان والمكان الخاصين بتشعب القرود الشبيهة السمات بالبشر أو الرئيسيات العليا (القرود والقرود العليا) anthropoids، وربما يدل ذلك ضمنًا على أنهم نشؤوا هناك أيضًا.



المخطط التطوري ١٩– ٨ أحد المخططات الشجرية التطورية المحتملة العديدة لتطور الرئيسيَّات. لقد قدَّم تشعُّبا الأوموميسيَّات omomyids والأدابيسيَّات adapids معظمَ الأدلةِ الخاصة بتطور الرئيسيَّات المبكِّرة، ونتوقَّع مراجعاتٍ عندما تظهر أدلة أكثر من أفريقيا وآسيا.

رئيسيات عصر الإيوسين [فجر الحديث] المتأخر في مصر

في عصر الإيوسين [فجر الحديث] المتأخر والأُلِجوسين [الحديث اللاحق]، كانت محافظة الفيوم المصرية _التي لا تبعُد كثيرًا عن القاهرة_ تقع على الساحل الشمالي لقارة أفريقيا–والعربية Africarabia أثناء انجرافها ببطء باتجاه الشمال الشرقي (راجع الفصل ١٨، حول حركات قارة أفريقيا التكتونية). تدل آلافٌ من جذوع الأشجار المتحجرة، بعضها أطول من ٣٠ متراً (١٠٠ قدم) على أنه كانت قد نمت على طول الحواجز الرسوبية النهرية[1] الخاصة بدِلْتا غنَّاء خصبة مليئة بالخضرة والمستنقعات غاباتٌ استوائيةٌ من أشجار المَنْجَروف والنخيل والنباتات المتسلِّقة الاستوائية lianas. كانت طيور اللقلق والغاق [طائر مائي ضخم] والعُقاب النسري والبلشون [مالك الحزين] وفيرة، كما هي في العصر الحالي حول البحيرات الكبرى في أفريقيا الوسطى. عاشت الأسماك والسلاحف وثعابين البحر والتماسيح في الماء وحولَه، وارتعت الأقاربُ التطوريّة المبكِّرة للفيليَّات والوَبْرِيَّات [حيوانات الزَلَم] على الخضرة الغنيَّة. ويُفترَض أن الرئيسيَّات أكلوا الفواكهَ على الأشجار. نفس مجموعة الحياة الحيوانية اكتُشِفَتْ في أماكن بعيدة جنوبًا ببُعْدِ أنْجولا، بالتالي فقد كانت حيوانات الفيوم واسعة الانتشار حول سواحل أفريقيا في عصري الإيوسين والأُلِجوسين [فجر الحديث والحديث اللاحق].

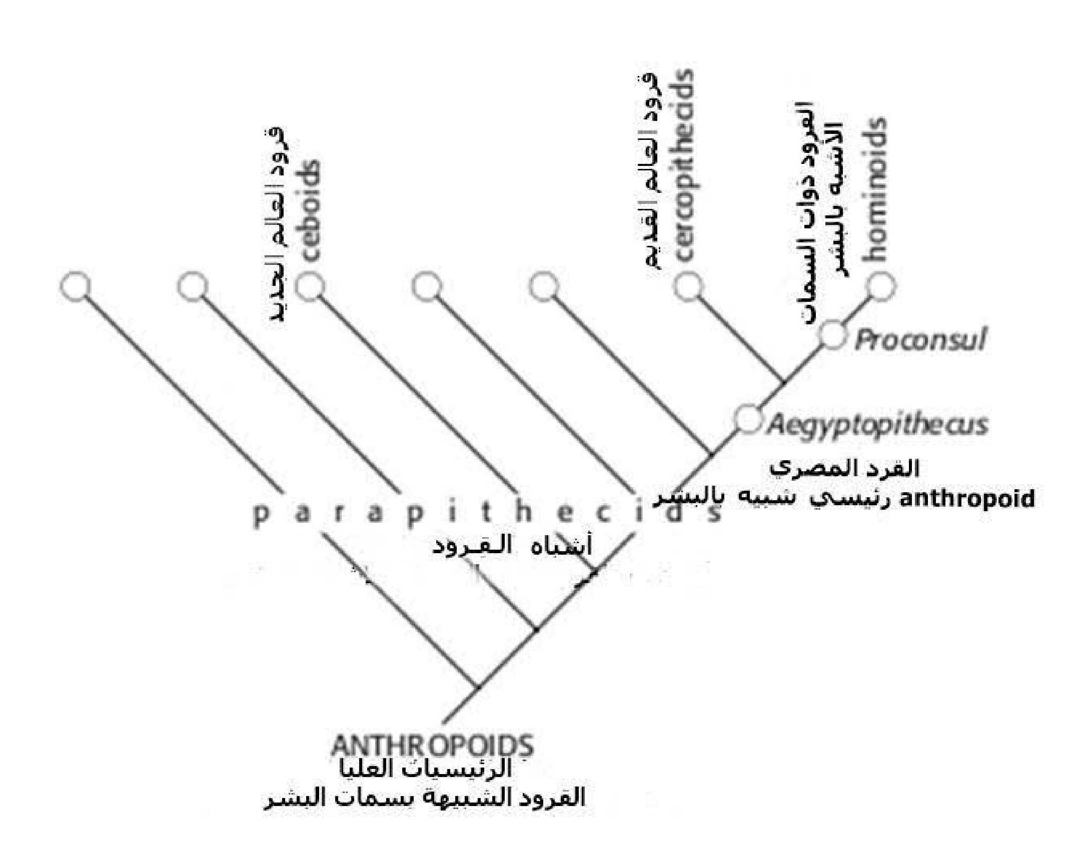
لقد اكتُشِفَتْ وجُمِعَتْ حاليًّا أكثرُ من ألفي عينة لـ ١٩ نوعًا من متحجرات الرئيسيَّات من رواسب الفيوم، معظمها في بعثات استكشافية قادها Elwyn Simons. تتضمن متحجِّراتُ الرئيسيَّاتِ تَرْسِيراتٍ tarsiers ولورِسيَّاتٍ lorises وصغارَ الأشجار [الجَلاجو] bushbabies. لكن الأخرى منها هي لرئيسيات عليا (قرود شبيهة السمات بالبشر) anthropoids، كلهم يبدون مثل آكلي فاكهة وآكلي أشجار متسلقي أشجارٍ.

كان للكثير من أنواع رئيسيَّات الفيومِ بعض السمات المتقدِّمة، لكنها لا تبدو على أنها الأسلاف المباشرة للقرود أو القرود العليا. إنها تُصَنَّف وتوضَع في مجموعةٍ من الرئيسيات العليا الأولية أو القاعدية المصنَّفة على أساس المنبت التطوري، تُدْعى بالـ parapithecids أشباه القرود (المخطط التطوري ١٩– ٩). كانت أشباهُ القرودِ Parapithecids صغار الأحجام، يصل وزنهم إلى حوالي ٣ كجم فقط (٧ أرطال). كانت جماجمهم شبيهة للغاية بالخاصة بقرود

[1] levee حاجز رسوبي، سد رسوبي، مسناة، شرفة نهرية، سد فيض طيني، حاجز أو سد نهري: رواسب نهرية متراكمة مشكِّلة سدودًا طبقية عند حافة سهل الفيض، على أسطح جانبي النهر نتيجة فيضانه، وغالبًا ما تَكُوْن من الطمي، وتسمى راسبًا فوق الشرفة overbank deposit،

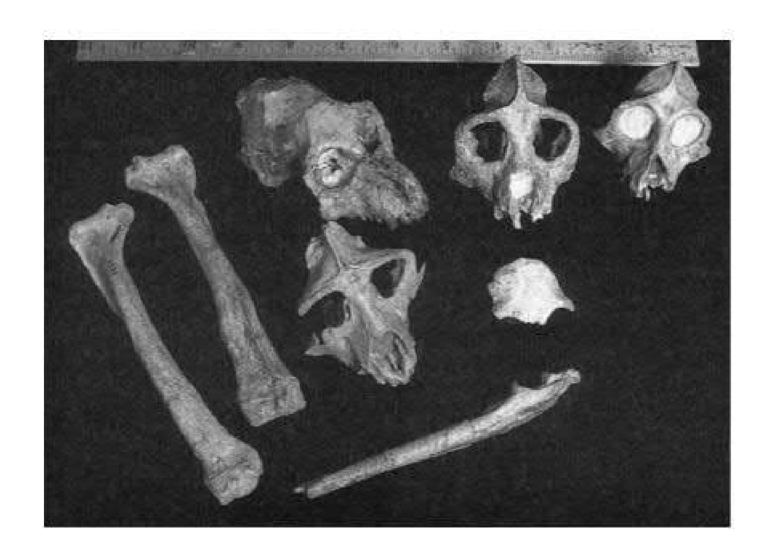
العالم القديم، لكن باقي هيكلهم العظمي يبدو بدائيًا، أشبه بالخاص بقرود أمِركا الجنوبيَّة. كان لهذه المجموعة الشَتَّى المتنوِّعة نفس نوع إيكولُجِيَّة [طريقة حياة] الرئيسيات الأساسية على الأرجح؛ وهي أكل الفواكه على الأشجار. كان Apidium _كمثال_ يبدو متكيِّفًا للقفز على الأشجار والتعلُّقِ بها، فكان يتسلق بأطرافه الأربعة ويُرجَّح أنه كان نهاري النشاط ويأكل الفواكه.

كانت الأنواع المعروفة حاليًّا لنا جيدًا على نحو كافٍ من الرئيسيات العليا anthropoids الفيومية لمقارنة أحجام الأفراد تتسم بثنائية الشكل الجنسي [يختلف شكل الذكور عن الإناث]. كان الذكور أكبر حجمًا ولهم أسنان نابيَّة أكبر بكثير من الإناث، ما يدل على أن الذكور استعرضوا أو تعاركوا على المرتبة، وأن تلك الحيوانات كان لهم حياة اجتماعية معقَّدة تضمَّنَتْ مجموعاتٍ من الإناث يهيمن عليهنَّ ذكرٌ واحد مُفرَد. في الرئيسيات الحية، فإن الأنواع الأكبر حجمًا هي التي لديها هذه السمة عمومًا، وخاصةً في قرود العالم القديم. رغم ذلك، فإن الرئيسيات العليا الفيومية تُثبِتُ أن الحجم ليس مهمًّا في تطور تلك السمات المرتبِطة بالجنس، وربما توحي أيضًا بأن هذه السمات على الأرجح أساسية في الرئيسيات العليا anthropoids. اقترح Simons وزملاؤه أنها نشأت عندما صارت الرئيسيات العليا anthropoids نشيطة ليلًا؛ فربما كان دفاع المجموعة بالتعاون عن نفسها مرتبطًا بهذه البنية الاجتماعية.

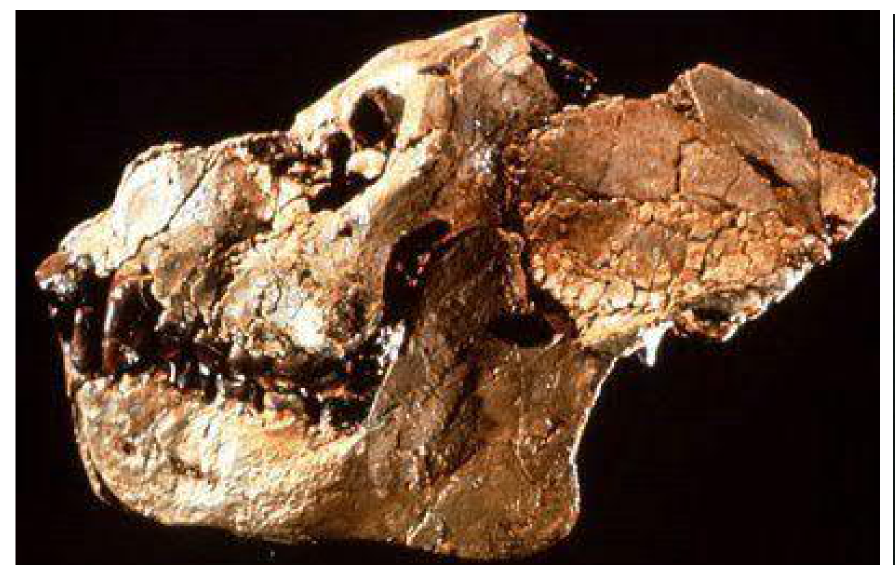


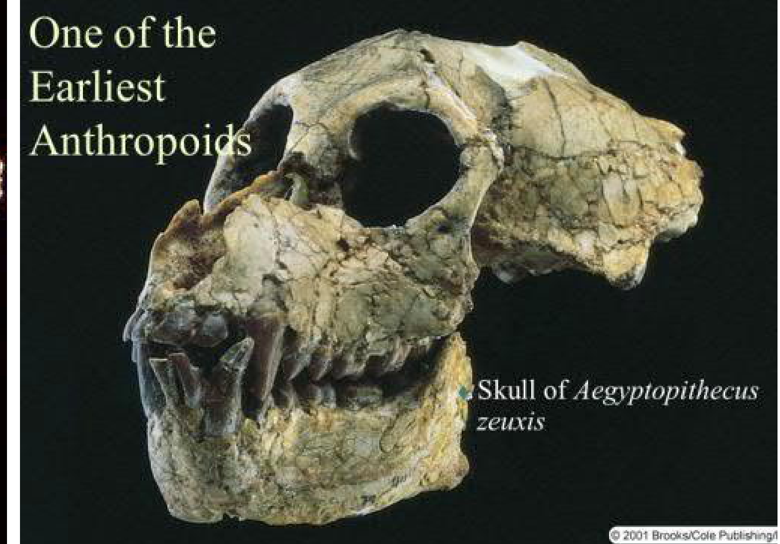
المخطط التطوري ١٩- ٩ مخطط تطوري للرئيسيات العليا، يتضمن الأدلة المكتشَفة من متحجرات الفيوم. حيث عُثِر على مجموعة متنوعة شتى من الرئيسيات العليا anthropoids في الفيوم، وهي المسماة بأشباه القرود parapithecids، وتتضمن السلف [المحتمَل أو قريب السلف] الخاص بالقرود الطويلة الذيل ceboids (قرود العالم الجديد)، و Aegyptopithecus [القرد المصري من الرئيسيا العليا] الذي كان له سماتٌ ترشحه لأن يكون سلفًا لكلٍّ من القرود ذوات الذيل cercopithecids (قرود العالم القديم) والقرود العليا العديمي الذيل الأشبه بسمات البشر hominoids (كالشيمبانزي والبونوبو وإنسان الغابة والجورلا). إن Proconsul [أترجمه إلى: السابق على الشيمبانزي أو القرود العليا] سلفٌ محتمَل لكل القرود العليا hominoids. يتسق هذا المخطط مع الأدلة من الجغرافية البيولُجية التي تقترح أن قرود العالم الجديد تباعدت وانفصلت تطوريًا عن رئيسيات العالم القديم عند حوالي نهاية عصر الإيوسين [فجر الحديث].

إن Aegyptopithecus [القرد المصري] (الصورة ١٩- ١٠) هو الذي لدينا أفضل معرفةً عنه من بين متحجرات الرئيسيات العليا anthropoids الخاصة بالفيوم. لقد كان رئيسيًّا أكبر حجمًا وبحجم القرد وذا وزن يُقدَّر بما بين ٣ إلى ٦ كجم (٧- ١٤ رطلًا). تقترح متحجرات عظام أطرافه الثقيلة أنه كان ذا تعضُّلٍ قويّ، ومتسلقًا بطيء الحركة، يشبه في إيكولُجِيَّتِه القرد العوَّاء الجنوبيَّ أمِركِيَّ الحيَّ المعاصِرَ. لقد كان لديه الكثير من السمات البدائية، لكن سماته المتقدِّمة كانت أشبه بالخاصة بالقرود العديمي الذيل apes مما هي بالقرود ذوي الذيل monkeys. فكمثال، كان دماغه كبيرًا بالنسبة لحجم جسده، وكانت عظام قدميه شبيهة بالخاصة بالقرود العليا الخاصة بعصر المَيُوسين [الحديث الأوسط]، وكان لديه فكَّان قويَّان بالنسبة لحجمه أيضًا. يُحْتَمَل بشدة أنه كان السلف المشترَك لكل الرئيسيات العليا في العالم القديم؛ وهم قرود العالم القديم (القرود ذوو الذيول cercopithecoids)، والجنس [النوع] Proconsul [السابق على القرود العديمي الذيل والعليا]، والخط التطوري المؤدي إلى القرود العديمي الذيل الأشبه بالبشر أو القرود أشباه البشر hominoids والبشريَّين [البشر وأسلافهم وأقاربهم القدماء] hominids (المخطط التطوري ١٩- ٩).



الصورة ١٩– ١٠ عينات متحجرات لـ Aegyptopithecus [القرد المصري] وهو رئيسي علوي anthropoid صغير الحجم من عصر الإِيُوسين [فجر الحديث] في مصر. إنه أقرب نوع تطوريًّا وجدناه حتى الآن للسلف المشترَك للرئيسيات العليا [أي: قرود] العالم القديم. كان مخه بدائيا مقارنة بمتحدريه أو متحدري أقاربه الذين تطوروا إلى القرود العليا، لكن كان مركز الإبصار (القشرة البصرية) في مخه كبيرا، هذا يقترح وجود إبصار جيد لديه. الصورة بتكرم من العالم الراحل خالد الذكر Elwyn L. Simons من جامعة دوك Duke University





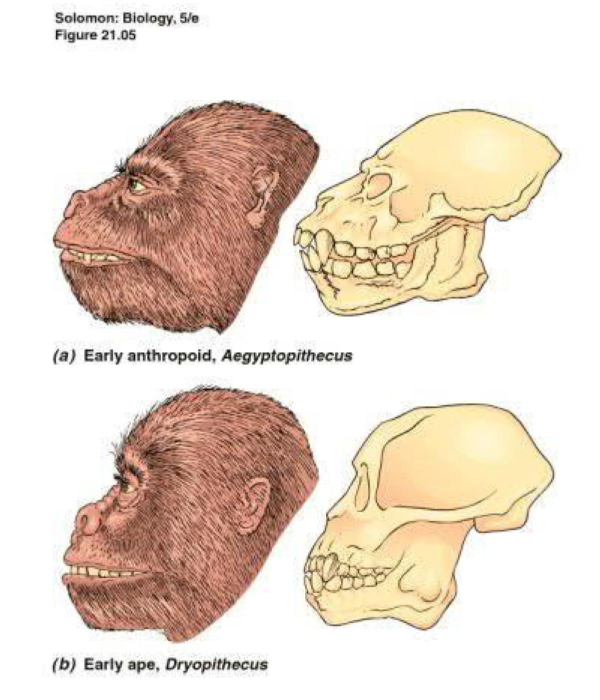










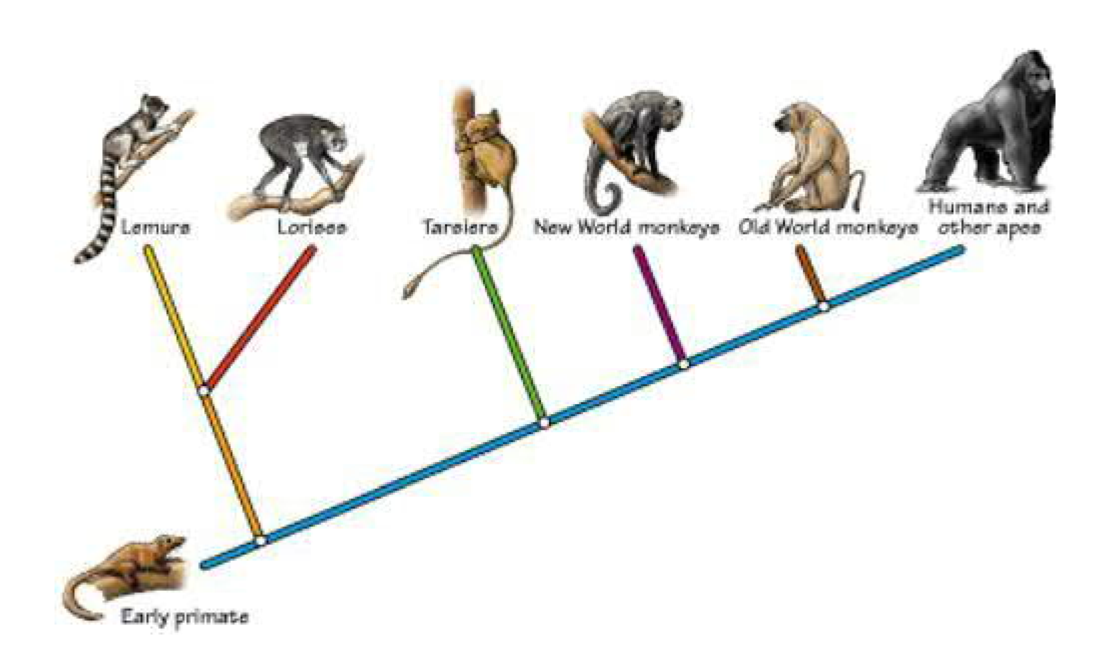


مجموعة متحجرات ورسوم للقرد المصري Aegyptopithecus

قرود العالم الجديد

وصلت الرئيسيات أمِركا الجنوبية بحلول عصر الأُلِجُوسين [الحديث اللاحق]، وتطوروا هناك في عُزْلةٍ، ولم يتأثروا بعد ذلك بأي تبادل أو اتصال مع مجموعات الرئيسيات الأخرى. لم يُعْثَر على أيّ متحجرةٍ لقردٍ أَوَلِيّ بدائيّ أو رئيسيٌّ شبيهٌ بالقرود العلوية قَطْ في أمِركا الجنوبية. بدلًا من ذلك، تطورت رئيسيات العالم الجديد لتملأ الفراغات الإيكولُجِيَّة التي يشغلها القرود ذوو الذيل monkeys وقرود الجِبُون في غابات العالم القديم.

لقد تطورت رئيسيات العالَم الجديد _ذوات الذيول الطويلة ceboids_ على الأرجح من رئيسيات مهاجِرين من أفريقيا عبروا المحيط الأطلسي الخائض مرحلة التوسُّع في عصر الأُلِجوسين [الحديث اللاحق]. وبسبب الافتقار إلى معلوماتٍ أفضل وأكثر حاليًا، فقد أظهرتهم في المخطط الشجري التطوري على أنهم مشتقون تطوريًّا من أشباه القرود parapithecids الفيومية المبكرة (مخطط الشجرة التطورية ١٩– ٩). لكن قرود العالم الجديد (ceboids or platyrrhini طويلي الذيل مسطحي الأنف) لهم بعض السمات الفريدة: ذيل قادر على الإمساك بالأشياء والتعلق والذي يُمْكِن استعماله كطرف خامس، وأربعة أسنان تزيد عما في قرود العالم القديم (ذوات الذيول cercopithecoids والقرود العليا، ويُعرفان كلاهما بالنسناسيَّات نازلي الأنوف Catarrhini). إن رئيسيات العالم الجديد ceboids ذوو قرابة وصلة بقرود العالم القديم cercopithecoids فقط من جهة أن كلا مجموعتيهم رئيسيات عليا [قرود ذوو سمات شبيهة بالخاصة بالبشر] anthropoids (مخطط الشجرة التطورية ١٩– ٩)؛ فقد تطورت الكثير من سماتهم الشبيهة بالخاصة بالقرود على نحوٍ مستقلٍّ. كمثالٍ، فإن الرؤية المُبْصِرة للألوان الخاصة بقرود العالم الجديد (ذوي الذيل الطويل Ceboids) تستعمل مساراتٍ عصبيةً مختلفة عن الخاصة بالقرود ذوي الذيل cercopithecoids والقرود العديمي الذيل والعليا apes، وقد تطورت فيهم مرة واحدة فقط، مبكِّرًا جدًّا.



إن أقدم رئيسيات خاصة بالعالم الجديد معروفة هما Dolichocebus [قرد العالم الجديد النحيل] من بَتَجونْيا Patagonia في الأرجنتين و Branisella [البرانيسي السالاوين منسوب إلى عالم المتحجرات مكتشفه Leonardo Branisa وإلى تكوين Salla Formation الجيولُجي] من بوليفْيا، كلاهما من عصر الأُلِجوسين [الحديث اللاحق] المتأخر، منذ حوالي ٢٦ أو ٢٧ مليون عام ماضٍ. إن Dolichocebus أشبه بالقرد السنجابي الحي المعاصر، ويمثل سلفًا محتمَلًا نموذجيًّا له. بنفس الطريقة، فإن بعض متحجرات قرود أمِركا الجنوبية من عصر المَيوسين [الحديث الأوسط] أشبه بالقرد العنكبوتي والقرد العاوي الحيين المعاصرين. وقد عُثِرَ على قرد بومي owl monkey حديث المظهر من صخور عصر المَيوسين في كولُمْبيا بعمر ١٢ إلى ١٥ مليون سنة ماضية. لذلك تُعتبَر كثيرٌ من قرود أمِركا الجنوبية متحجراتٍ حيةً. فإما أنهم تطوروا مبكرًا وسريعًا، أو أن لهم سجل متحجرات أطول زمنيًّا لا يزال لم يُكتَشَفْ.

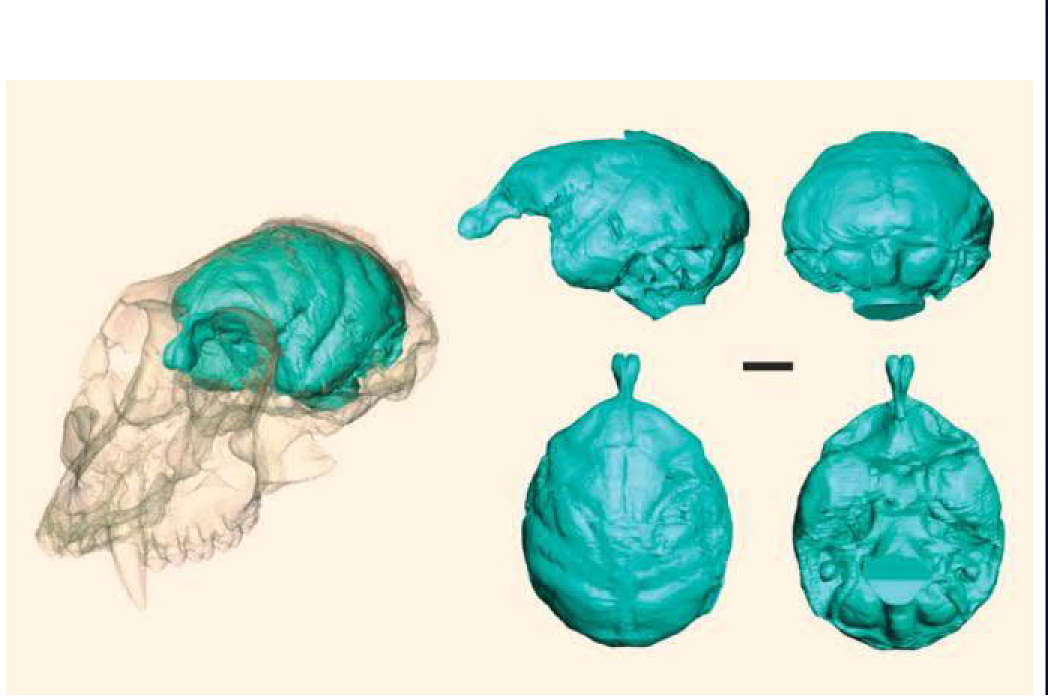


Dolichocebus [قرد العالم الجديد النحيل]

إن كل رئيسيات أمركا الجنوبية قاطنو أشجار. لم تتطوَّرْ رئيسياتُ أمِركا الجنوبيَّة إلى طرق الحياة الأرضية كما فعلت بعضُ رئيسياتِ العالَم القديم، رغم أنه كان ولا يزال هناك مناطق سافَّانات واسعة في أمِركا الجنوبية منذ عصر المَيوسين [الحديث الأوسط].

قرود العالَم القديم

نحن نعرف أكثر عن بزوغ قرود العالم القديم. إن Victoriapithecus [قرد بحيرة فِكْتورْيا] من عصر المَيوسين [الحديث الأوسط] في شرقي أفريقيا [في كينيا قرب بحيرة فِكْتورْيا] سلفٌ محتمَلٌ نموذجيٌّ لهذه المجموعة، وهو أقدم قرود العالم القديم المكتشفة حتى الآن. على نحو مثير للاهتمام، فقد كان صغير الحجم حتى بالنسبة لقرد monkey بوزن تراوح ما بين ٣ إلى ٧ كجم، ويبدو أنه كانه له إيكولُجِيَّة شبه أو نصف أرضية بدلًا من عادة سكنى الأشجار التي ربما كان يتوقعها المرء، وكانت أسنانه مزدوجة الأعراف bilophodont ذوات شرفات منخفضة.



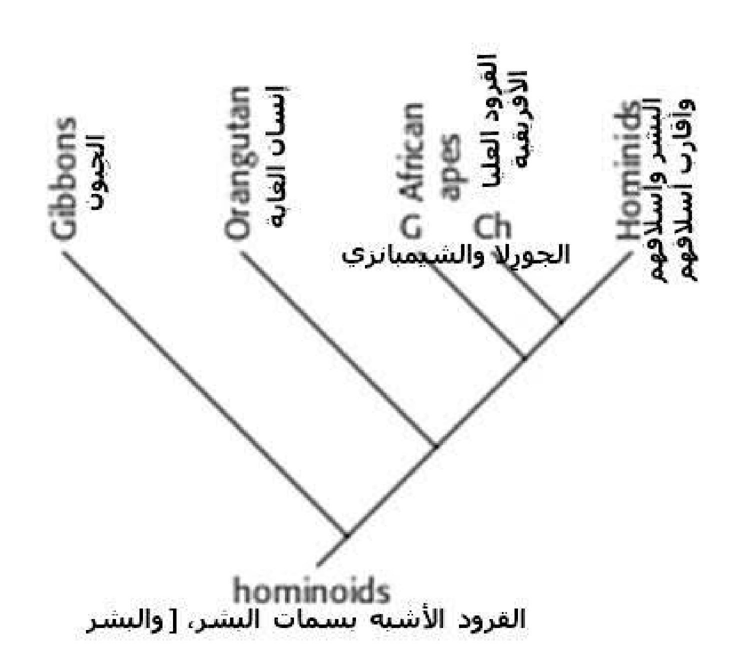


Victoriapithecus macinnesi skull
حمجمة القرد الفكتوري

بزوغ القرود العديمي الذيل الأشبه بسمات بالبشر hominoids[1] (كالشيمبانزي والبونوبو والأورانج أوتان إنسان الغابة والجورِلا ومعهم البشر وأسلاف البشر وأقاربهم التطوريين، وهم المعروفون بالقرود العليا، ومعهم قرد الجِبون الغير علوي)

تتضمن القرود الأشبه بسمات البشر hominoids الحية المعاصرة: قرود الجِبون بأنواعه الستة عشر، ومنها السيامانج الآسيوي (hylobatids القرود العديمة الذيول الدنيا)، وإنسان الغابة أورانج أُوتان وأقاربه التطوريين المنقرضين (pongids or ponginae) أو القرود العليا الآسيوية (لا يزال إنسان الغابة بأنواعه الثلاثة فقط على قيد الحياة وهي مهددة الانقراض)، والقرود العليا الأفريقية (الشيمبانزي والجورِلّات) والبشريين أو الإنسانيَّات (hominids) (لا يزال البشر فقط على قيد الحياة). لقد دُرِسَتْ البنيواتُ الجسدية الفيزيقية والجزيئية والجينية الخاصة بالقرود الأشبه بسمات البشر [والبشر] hominoids عن كثبٍ وبإحكامٍ. إن البشر والجورِلّات (الغوريلّات) والشيمبانزي (البعام بالعربية ويضم الشيمبانزي الشائع والبونوبو) متشابهة جدًّا في مكوِّنها الجينيّ [الوراثيّ] وفي كيمياء البروتينات، وهم أكثر قربًا إلى بعضهم البعض في تلك النواحي مما هم من جهة بنية الجسد، أما إنسان الغابة أورانج أوتان فيختلف عنهم على نحو جوهري هام، ويختلف الجِبون عنهم أكثرَ بعدُ.

لقد تطورت فصيلة القرود العديمي الذيل الأشبه بالبشر [والبشر] Hominoids على نحو يقينيٍّ تقريبًا من جنس أفريقي من القرود مثل Aegyptopithecus [القرد المصري]. تقترح ساعة طفرات الحمض النووي المنزوع الأُكْسُجِن DNA أن السلف المشترك لكل القرود الأشبه بالبشر [والبشر] Hominoids انفصل تطوريًّا عن القرود ذوي الذيل monkeys منذ حوالي ٣٣ مليون سنة ماضية، ثم انفصلت قرود الجِبون منذ حوالي ٢٢ مليون سنة، تلاها انفصال خط إنسان الغابة منذ حوالي ١٦ مليون سنة. وفي النهاية تباعد وانفصل خط تحدُّر جنس البشريين hominids [نحن وأسلافنا وأقاربهم] وخطوط تحدر القرود العليا الأفريقية عن بعضهم البعض فيما بين ١٠ و٦ ملايين سنة ماضية (المخطط التطوري ١٩– ١١). لكنْ تقترح الساعات البروتينية الجزيئية أزمنة أكثر حداثةً لأحداث التفرع [الانتواع].



المخطط التطوري ١٩– ١١ المخطط التطوري الخاص بالقرود الأشبه بالبشر [والبشر] hominoids الذي تقترحه الأدلة من علمي الأحياء الجزيئية والمتحجرات. تحديد أزمنة التشعبات التطورية غير مؤكَّد، ولا يُرَجَّحُ أن يُتَّفَقَ عليه قريبًا. لا تُظْهَر المجموعاتُ المنقرضة في هذا المخطط التطوري.

القرود الأشبه بالبشر Hominoids الخاصة بعصر المَيوسين [الحديث الأوسط]

منذ حوالي ٢٢ مليون عام، كانت قارة أفريقيا–والعربية Africarabia عبارة عن كتلة أرضية قارِّيَّة واحدة تقع جنوبَ قارة أوراسيا وكانت مفصولةً عنها بآخر بقايا محيط تيثِز Tethys. كانت الحيوانات الأفريقية تتطور في عزلة بدرجة كبيرة عن باقي العالَم، وكانت بعض المجموعات _بما فيها القرود الأشبه بالبشر hominoids_ مقتصرة الوجودِ على أفريقيا–والعربية (أو أفريقوعربيا Africarabia) في ذلك الزمن، رغم أنهم كانوا منتشرين باتساعٍ عبرها.

[1] hominoids القرود الأشبه بالبشر: تشمل القرود العليا كالشيمبانزي والبونوبو والأورانج أوتان إنسان الغاب والجورلا ومعهم البشر وأسلاف البشر وأقاربهم التطوريين، ومعهم قرد الجِبون الغير علوي) [أو لنقل أن فئة hominoids تضم الإنسانيَّات Hominidae التي تضم تلك الأنواع ومعهم الجِبون من غير الإنسانيات].

كانت تهيمن على مجموعات الحياة الحيوانية في عصر المَيوسين [الحديث الأوسط المبكر] المبكِّر الخاصة بأفريقيا بالنسبة لاعتياش ذوي الأحجام الكبيرة الفيليَّاتُ والخرتيتيَّات، وبالنسبة لاعتياش متوسطي الأحجام هيمنت الأيائل البدائية والوَبْرِيَّات، وفي الأحجام الصغيرة كانت الثدييات آكلات الحشرات الثديية شائعةً. كانت البيئة غاباتٍ تتخللها وتفصلها أراضٍ معشوشبة مكشوفة وغابات أشجار. ازدهرت الرئيسيات من كل الضروب، رغم أنه يصعُب وصف إيكولُجِيَّتهم [طرق اعتياشهم وحيواتهم] وعاداتهم لأن هياكل الأجساد ليست معروفة بنفس جودة معرفتنا بجماجمها. لكن السعالي البدائية Prosimians والقرود ذوو الذيل monkeys كانوا نادرين، بينما كان القرود الأشبه بالبشر hominoids متنوعين ووفيرين. لدينا [في متاحف العالم] أكثر من ألف متحجرة قرد أشبه بالبشر hominoid من عصر المَيوسين [الحديث الأوسط] المبكر الأفريقي، معظمها تؤرَّخ بما بين ١٩ إلى ١٧ مليون سنة ماضية، ومعظمها من شرقي أفريقيا.

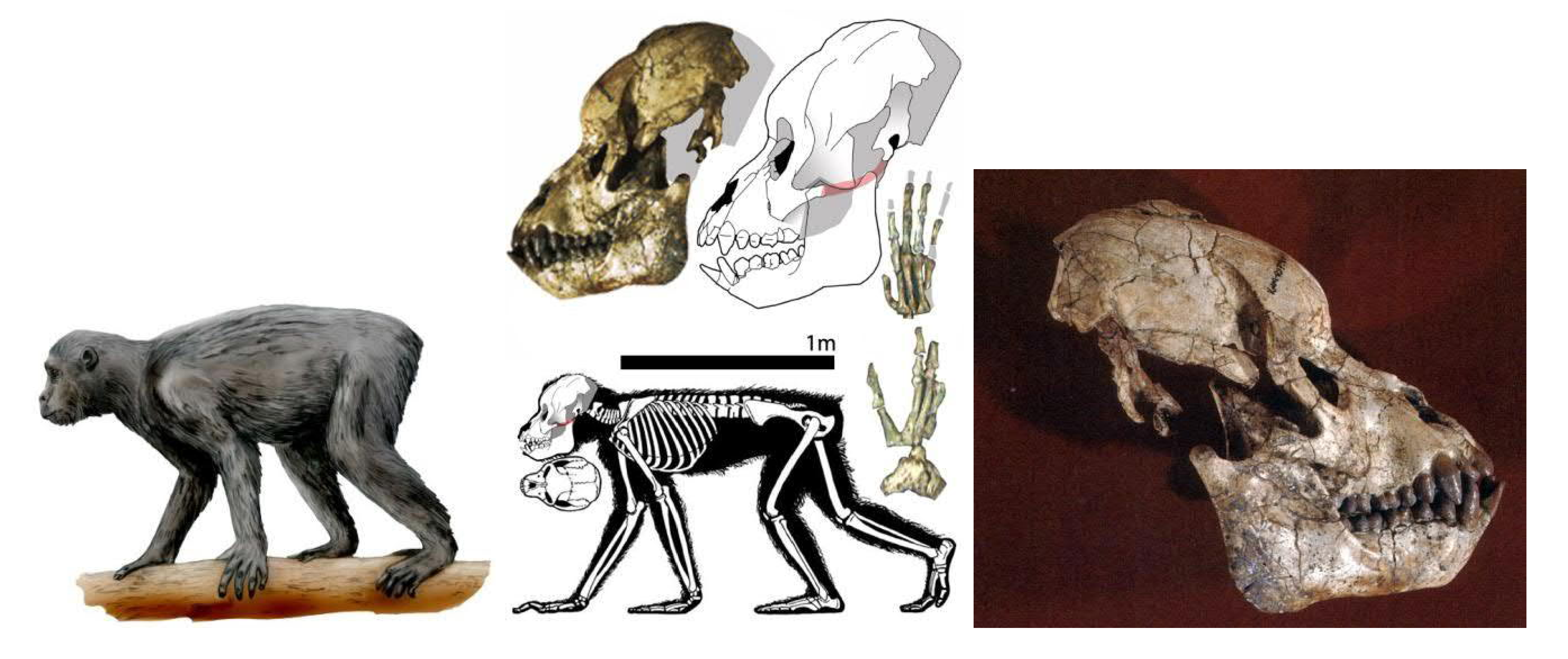
كان القرود أشباه البشر hominoids المهيمنون هم الدريوبثِكِيَّات أو دريوبثِكِيَّات الشكل dryomorphs[1] الشبيهون بالقرود العديمي الذيل. ومثل القرود العديمي الذيل الأفريقية الأحياء المعاصرين، كان لهم أسنان خدِّية [أيْ: خلفية] صغيرة نسبيًّا ذوات طبقة مينا رفيعة، وهو ما يدل ضمنًا على نظام غذائي ليِّنٍ طريٍّ من الفواكه وأوراق الأشجار، وطريقة حياة قائمة على البحث والارتعاء فوق الأشجار مثل معظم القرود ذوي الذيل monkeys الأحياء المعاصرين. (تذكر أن القرود ذوي الذيل كانوا نادرين في ذلك الزمن). تنوَّعت أوزان الدريوبثِكِيَّات dryomorphs من وزن نوعٍ كبيرِ الحجم من الـ Proconsul [يعني اسمه السابق على القرود العديمي الذيل]، والذي كان يزن ذكوره حوالي ٣٧ كجم (٨٠ رطلًا) وهبوطًا حتى Micropithecus [القرد الضئيل] الذي كان يزن حوالي ٤ كجم (٩ أرطال)، [وهو أصغر قرد من أشباه البشر hominoids معروف]، وتنوعت طرق حركتهم تبعًا لذلك. لم يكن Micropithecus [القرد الضئيل] و Dendropithecus [نوع ضئيل آخر من القرود، كان طوله حوالي ٦٠ سم فقط، ويعني اسمه قرد الأشجار] بنفس جودة التكيف للتأرجح بالذراعين مثل قرود الجِبون المعاصرة، لكنهما كانا خفيفي البنية واعتمدا على التحرك التعلقي _أي: التنقل بالتعلق بالذراعين من فرع إلى فرع_ أكثر مما فعلت رئيسياتُ عصر المَيُوسين الأخرى.

إن أفضل شكلٍ منها معرفةً به لدينا وأكثرها أهميةً هو الجنس Proconsul [يعني اسمه ما قبل القرود العديمي الذيل] (الصور ١٩– ١٢). كانت هناك العديد من أنواع هذا الحيوان منذ ١٨ مليون سنة ماضية. أكثر العينات اكتمالًا هي من نوع صغير الحجم يزن حوالي ٩ كجم (٢٠ رطلًا) لكنَّه كان لديه مخٌّ بحجم مخِّ قرد البابون (الرُّماح)؛ أي أن مخَّه كان بالنسبة لحجم جسده أكبرَ من الخاص بالقرود ذوي الذيل monkeys الأحياء المعاصرين. كان هيكله العظمي مزيجًا من السمات البدائية التي توجد أيضًا في القرود ذوي الذيل والجِبون والشيمبانزي، تدل هذه السمات في مجملها على رئيسيٍّ ماشٍ على أربع أَوَّلِيٍّ قاعِديٍّ متسلق للأشجار آكل للفواكه والذي يمكن أن يكون سلفَ كل القرود الأشبه بالبشر hominoids اللاحقة. كان لرأس وفكَّيْ Proconsul سمات متقدمة خاصة بالقرود الأشبه بالبشر hominoid، رغم أن معظم هيكل جسده ظل غير متخصِّص. كان يمكن للـ Proconsul الكبير الحجم أن يقضي الكثير من الوقت حسب اختياره إما في التسلق أو على الأرض، مثل الشيمبانزي الحي المعاصر. ومثله، فقد كان متقلبًا طليق الحركة في حركاته على الأرجح، وقادرًا على سلوك الوقفة والمشية المنتصبة من وقت إلى آخر.



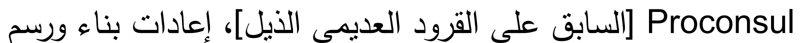


[1] Dryomorphs: حرفيًّا تعني ساكنات الأشجار أو قرود الأشجار. أو فصيلة الدريوبثِكِيات، القرود الأورُآسيوية الشبيهة بالقرود العديمي الذيل، من أشباه أحد أجناسها وهو Dryopithecus [يعني اسمه قرد الأشجار بالجريكية] خلال عصر المَيوسين المتأخر، كان Dryopithecus نفسه بطول ١,٢ متر وأشبه بقرد مما هو إلى قرد علوي. كانت بنية أطرافه وكاحليه ورسغيه تظهر أنه مشى بطريقة مشابهة للشيمبانزي المعاصر، لكنه استعمل بطانة يده المنبسطة بدلا من المشي على مفاصل الأيدي عن طريق ثنيها إلى حد ما كما في القرود العديمي الذيل المعاصرين. وكان وجهه ذا وضعية مائلة إلى أسفل.

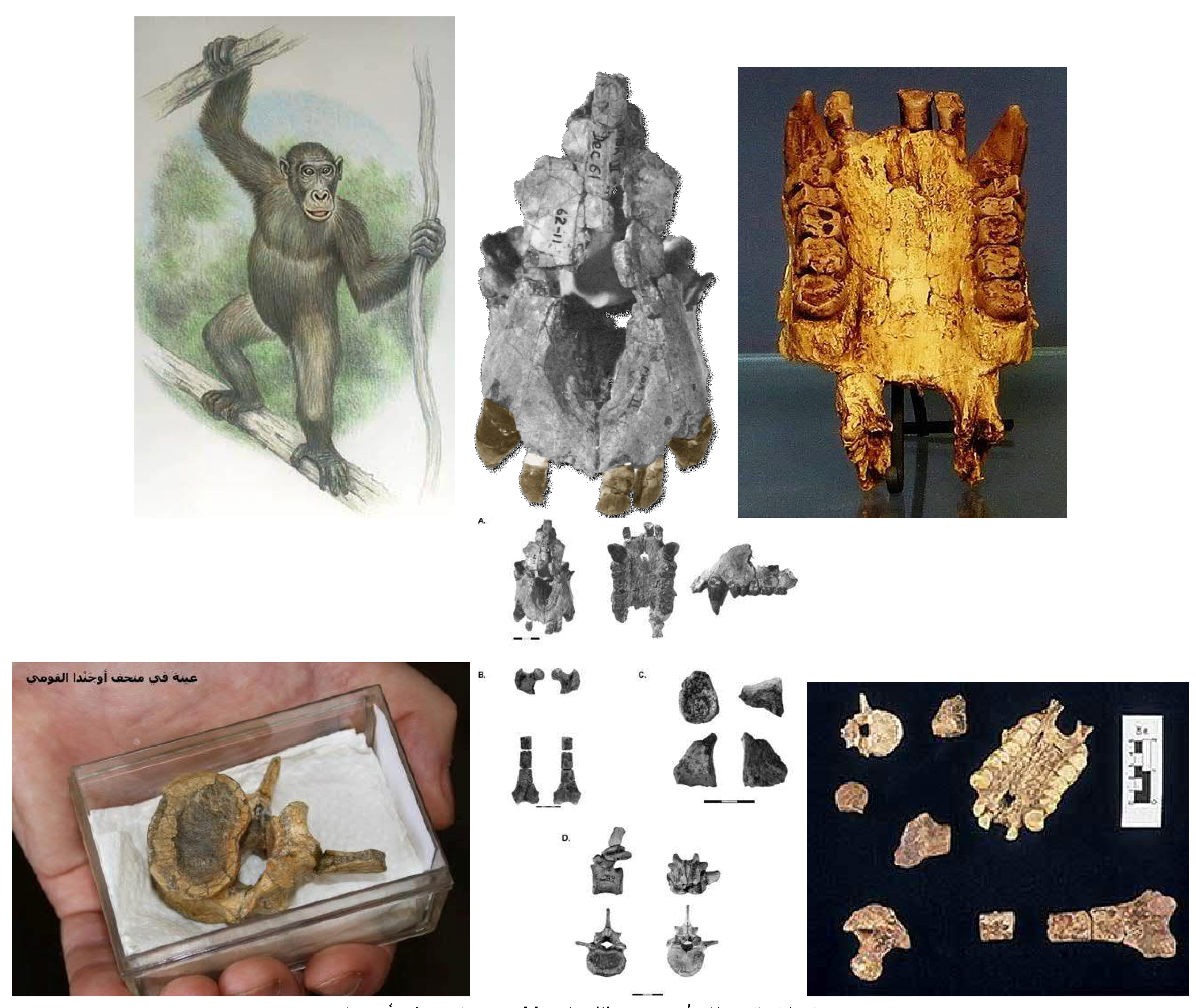


الصورة ١٩– ١٢ متحجرة وإعادات بناء لـ Proconsul [يعني اسمه السابق على القرود العديمي الذيل]، والذي كان دريوبثِكِيًّا dryomorph من شرق أفريقيا والذي ربما كان السلف المشترَك لكل القرود الأشبه بالبشر [والبشر] hominoids اللاحقين (القرود العليا والبشر، وأسلافهم، ومعهم الجِبون)، ومنهم فرع الإنسانيات أو أشباه البشر [والبشر] hominids (القرود العليا والبشر وأسلافهم). الأجزاء الملونة بالأسود في الرسم الأعلى هي متحجرات العظام المعثور المعثور عليها من إحدى عينات متحجرته، وما هو ملون بالأبيض إعادة بناء. وبالصور صورة لأفضل وأشهر متحجرة جمجمة لـ Proconsul. لم يكن الفكان بارزين كثيرًا لو كانت جمجمته مائلة في الوضع الذي كانت عليه في وضعيته السائرة على الأربع في خلال حياته.




Proconsul [السابق على القرود العديمي الذيل]، إعادات بناء ورسم

وكان Morotopithecus [القرد المورْتُويّ، من محافظة مورتو الأوجَندية] قردًا عديم الذيل ape من أوجَنْدا، ربما يصل قِدَمُه إلى ٢٠ مليون سنة ماضية. ورغم أننا لا نمتلك متحجرة هيكل عظمي له بدرجة اكتمال الخاصين بـ Proconsul [السابق على القرود العديمي الذيل]، فقد كان Morotopithecus على نحو واضح كبير الحجم (٤٠ إلى ٥٠ كجم، أو حوالي مئة رطل)، وأجزاؤه التي لدينا [في المتاحف] أكثر تقدمًا من نفس الأجزاء المناظرة في Proconsul. بعبارة أخرى، فإن Morotopithecus قريب على الأرجح من الأسلاف المباشرين لكل القرود الأشبه بالبشر [والبشر] hominoids اللاحقين. لقد كان على الأرجح متسلقًا ثقيلًا بطيئًا، يتعلق في الأشجار ويأكل الفواكهَ والنباتات الطرية.



متحجرتان لفك القرد المُورتُوِيّ Morotopithecus ومتحجرات عظام أخرى له

انجرفت قارة أفريقيا–والعربية Africarabia باتجاه الشمال في أثناء عصر المَيوسين [الحديث الأوسط] (راجع الفصل ١٨) وفي آخر الأمر اصطدمت بقارة أوراسيا ليتكوَّن حزام جبلي غير منتظم ممتد من إيران إلى تركيا. قاطع وأعاق الاصطدامُ الدورة المحيطية الاستوائية[1] وتسبَّبَ في تغيُّراتٍ مناخية. برُدَت درجات الحرارة في شرق أفريقيا، ومرت كل القارات الشمالية تقريبًا بتغيرات درامية [كبيرة مفاجئة] في مجموعات حيواناتها الحيوانية والنباتية. فصارت الغابات مكشوفةً أكثر بكثير، وتطورت الأعشاب لتشغل مساحات واسعة من الساڤَانا.

[1] الدورة المحيطية: هي حركة المياه في أحواض المحيط على مقياس كبير. تدفع الرياح سطح الدورة، ويقود الماء البارد الغاطس في المناطق القطبية الدورة العميقة. تحمل الدورة السطحية الماء الدافئ العلوي باتجاه القطبين من عند المناطق الاستوائية. وتعرفه ويكيبيديا كالتالي: التيار المحيطي (أو التيار البحري) هو حركة مستمرة مباشرة لمياه المحيط نتيجة عوامل القوى التي تؤثر على متوسط التدفق، مثل ارتطام الأمواج والرياح وتأثير كوريوليس وتأثير الكثافة على حركة الأمواج، ودرجة الحرارة والملوحة والمد والجزر الناتج عن شد جاذبية القمر والشمس. وهذا بالإضافة إلى تأثير خطوط تساوي الأعماق وخط الشاطئ والتفاعل مع التيارات الأخرى في اتجاه التيار وقوته. والتيار العميق هو أي تيارٍ محيطي على عمق يزيد عن ١٠٠ متر. ويمكن للتيارات المحيطية أن تندفع إلى مسافات كبيرة، وتشكّل معًا الاندفاع الكبير للحزام الناقل العالمي، والذي يلعب دورًا رئيسًا في تحديد المناخ في العديد من مناطق الأرض. وربما يعتبر أبرز الأمثلة على ذلك تيار الخليج والذي يجعل شمال غرب أوروبا تنعم بأفضل مناخ معتدل مقارنةً بأي منطقة أخرى تقع على نفس خط العرض. وتعدّ مدينة ليما في بيرو مثالًا آخر؛ حيث يكون المناخ أكثر برودةً (شبه استوائي) من خطوط العرض الاستوائية التي تقع فيه المنطقة، وهذا نتيجة تأثير تيار هامبولت. إن تيارات السطح المحيطية تتحرك في الأساس بقوة الرياح، وتشكّل دورانها تجاه عقارب الساعة في نصف الكرة الشمالي ودورانها عكس عقارب الساعة في نصف الكرة الجنوبي، وهذا نتيجة تأثير ضغوط الرياح. وفي التيارات المدفوعة بقوة الرياح، يظهر تأثير حلزون إكمن في التيارات الجارية التي تشكّل زاوية مع الرياح الدافعة. وتتحرك مناطق تيارات السطح المحيطية مع الوقت بقدر ما مع مرور الفصول، وهو ما يعتبر ظاهرًا بصورة ملحوظة في التيارات الاستوائية. وتتميز الأحواض المحيطية بتيارات سطحية غير تناظرة، وفي ضوء ذلك، يتميّز الفرع الشرقي المتجه إلى خط الاستواء بأنه عريض ومنتشر، بينما يتميز الفرع الغربي المتجه ناحية القطب بأنه شديد الضيق. وتعدّ هذه التيارات الغربية الحدودية (والتي يعتبر تيار الخليج مثالًا عليها) نتاجًا للميكانيكا الأساسية لتحرك الموائع. وتندفع التيارات المحيطية العميقة عن طريق تغيرات الكثافة والحرارة. ويشير التباين الحراري، والذي يُعرف أيضًا باسم الحزام الناقل المحيطي، إلى تيارات الحوض المحيطي.العميقة المحيطية والمدفوعة بالكثافة. فهذه التيارات، التي تندفع أسفل سطح المحيط ومن ثَمّ يصعب تحديدها بالاستشعار الفوري، يطلق عليها اسم الأنهار تحت سطح البحر. وتخضع هذه للبحث حاليًا باستخدام أسطول من الروبوتات المائية التي يطلق عليها اسم آرجو. وتعد مناطق تدفق المياه إلى أعلى وتدفق المياه إلى أسفل بالمحيطات مناطق يُلاحظ فيها تحرك كبير في الاتجاه الرأسي. وتشكّل تيارات السطح ما يصل إلى حوالي ١٠% من جميع المياه الموجودة بالمحيط. وغالبًا ما تقتصر تيارات السطح عمومًا على الحدوث أول ٤٠٠ م (١،٣٠٠ قدم) من المحيط. وتحدث حركة المياه العميقة في أحواض المحيط نتيجة تأثير القوى المدفوعة بالكثافة والجاذبية. كما يعتبر اختلاف الكثافة ناتجًا عن تأثير اختلاف درجات الحرارة والملوحة. وتهبط المياه العميقة إلى أحواض المحيط العميقة عند خطوط عرض بعيدة عن خط الاستواء؛ حيث تكون درجات الحرارة باردة بمعدل كافٍ لتؤدي إلى زيادة الكثافة. وتقاس التيارات المحيطية بوحدة سفيردرب (Sv)، حيث يساوي ١ سفيردرب معدل التدفق الحجمي لكل ثانية.

زادَ تبادلُ بالهجرات للحيوانات بين قارتي أفريقيا–والعربية وأوراسيا من الاضطراب الإيكولُجِي الخاص بذلك الزمن (راجع الفصل ١٨). في خلال تلك العملية، نجحت القرود الأشبه بالبشر hominoids في اجتياح سهول والأراضي المشجَّرة لقارة أوراسيا.

أما في أفريقيا، فقد ظلت الدريوبِثِكِيَّات dryomorphs في الغابات، التي هُزِلَتْ أو قُلِّصَتْ بفعل درجات الحرارة الباردة. وصاروا تحت ضغط متزايد من جانب القرود ذوي الذيل monkeys المتطوّرين. لقد ازداد القرود ذوو الذيل وفرةً عدديَّةً وتنوُّعًا لدرجة أنهم وليس القرود عديمو الذيل apes من يهيمنون على الغابات المتبقّية في أفريقيا وآسيا.

[إن الجنس Nakalipithecus nakayamai [القرد المعثور عليه في منطقة ناكالي، قرب محافظة وادي الصدع في كينيا]، والذي تعود متحجراته لى عشرةِ ملايين سنة ماضية قد يكون آخر سلف مشترك محتمل لكل من الجورِلّات والشيمبانزيات والبشر، وفقًا لباحثي جامعة Kyoto University اليابانية. لذلك فهو يُعتبَر عضوًا أوليًّا قاعديًّا في فصيلة Homininae الإنسانيات أو أشباه البشر. وهو يثبت صحة نظرية أن أشباه البشر والبشريين نشؤوا في أفريقيا نظرًا لوجوده في عصر المَيوسين المتأخر.] [فقرة من إضافة المترجم]

وصل بعض الدريوبثِكِيَّات dryomorphs المتأخرين زمنيًّا أوراسيا، لكنهم كانوا وفيري الأعداد على نحو ظاهر في أورُبا فقط. للجنس Dryopithecus منهم متحجرات في أورُبا عُثِر عليها من إسبانيا وحتى المجر (هنجاري). ربما لأنه عاش في منطقة باردة، فقد كان Dryopithecus أكبر وأقوى من معظم أجناس فصيلة الدريوبثِكِيَّات dryomorphs. إن متحجراتِه تُظْهِر تكيفاتٍ للتأرجح على الفروع بوضعية يكون الجذع فيها رأسيًّا تقريبًا، مما أعطاه بعض السمات الشبيهة بالخاصة بإنسان الغابة (أورانج أوتان) المعاصر. مع ذلك فإن جمجمته لم تكن مثل الخاصة بقرود إنسان الغابة، وإن موضع Dryopithecus التطوري أقرب إلى القرود الأشبه بالبشر hominoids الأفريقية[1].

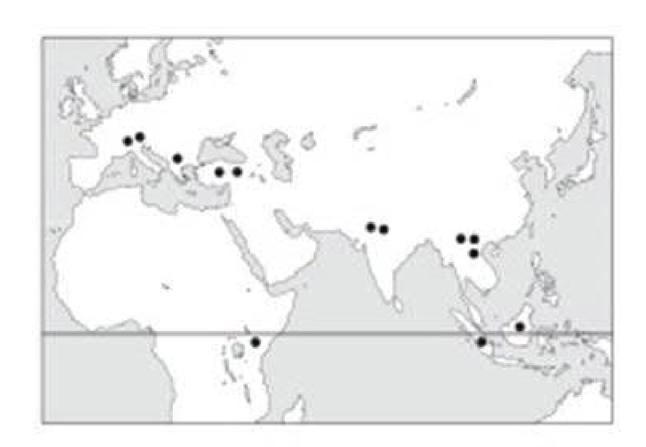
الشيڤَابِثِكِيَّات أو قرود شيڤا[2]

عند زمن حوالَيْ ١٤ مليون سنة ماضية، ظهرت فصيلة جديدة من القرود الأشبه بالبشر hominoids بجوار الدريوبثِكِيَّات dryomorphs، فكانت الشيڤَابِثِكِيَّات أو قرود شيڤا sivapithecids هي المجموعة المهيمِنة في شرق أفريقيا. كان أبكرُ شيڤَابِثِكِيٍّ sivapithecid هو Kenyapithecus[3] [القرد الكيني]، ويؤرَّخ بحوالي ١٤ مليون سنة ماضية. لقد كان عام الصفات غير متخصص بدرجة كافية تسمح باحتمالية أن يكون متحدرًا لـ Proconsul [السابق على القرود العديمي الذيل] و/ أو Afropithecus [القرد الأفريقي]، وأن يكون سلفَ كل القرود العديمي الذيل apes الكبار الأحجام اللاحقين؛ وهم: الشيڤَابِثِكِيَّات أو قرود شيڤا sivapithecids وإنسان الغابة وأقاربه المنقرضين أو إنسانيات الغابة pongids من جهة (في آسيا)، ومن الجهة الأخرى القرود العديمي الذيل الأفريقية panids والبشريين hominids (البشر وأسلافهم وأقارب أسلافهم).

كان الشيڤَابِثِكِيَّات أو قرود شيڤا sivapithecids قرودًا عديمي الذيل apes، عُثِر على متحجرات أجناسهم في منطقة واسعة تمتد من شرق أفريقيا حتى أورُبا الوسطى، وباتجاه الشرق وصولًا إلى الصين (الخريطة ١٩– ٣). وكان الجنس Sivapithecus [قرد شيڤا] نفسه [والذي منح الفصيلةَ اسمَه، والمعروف كذلك بقرد رامْ أو راما Ramapithecus] قردًا عديم الذيل ape آسيويًّا[4]. ولدينا عدد كبير [في متاحف العالم] من متحجرات الشيڤَابِثِكِيَّات أو قرود شيڤا sivapithecids، لكنها في معظمها فكوك وجماجم، وأسنان مُفْرَدَة وحدَها؛ ولا يوجد إلا القليل من عظام الجسد أو الأطراف المعروفة على نحوٍ

[1] أما أورانج تان (إنسان الغابة) فقرد علوي آسيوي، من القرود الأشبه بالبشر.
[2] الشيڤِابِثِكِيَّات اشتق اسمها من اسم أحد أجناسها وهو Sivapithecus شيڤابِثِكُسْالمكتشَف عينة له في الهند، وشيڤا هو إله الهندوس المعروف، ويُعرف هذا القرد باسم Ramapithecus قرد راما أيضًا كاسم مستوحى من التراث الهندي، وهو أليق بسياق خرافات وتراث الهندوس. ويعتقد أنه ربما تطور إنسان الغابة من أحد أنواع Sivapithecus أو من جنسٍ قريبٍ تطوريٍّ له.
[3] كان للقرد الكيني Kenyapithecus تكيفات للقحفوالأسنان للتغذي على الأشياء القاسية الصلبة وتتضمن فكاً سفليًا كبيرًا وضواحك كبيرة، وكانت قواطعه مشابهةتطوريًا للخاصة بقرود السكاوات pitheciine المعاصرة الخاصة بالعالم الجديد. وكانت له أطراف شبيهة بالخاصة بقرد المكاك متكيفة للمشي على مفاصل الأيدي (مثل الشيمبانزي وغيره). وكانت أسنانه حديثة المظهر. أما القرد الأفريقي التوركاني أو الذي من قرب بحيرة توركانا الكينية Afropithecus turkanensis فامتاز عنه بأنه كان أول قرد أشبه بالبشر hominoid معروف ذا طبقة مينا سميكة في أسنانه.
[4] كان طول شيڤَابِثِكُسْ Sivapithecus حوالي متر ونصف، مشابهًا في الحجم لإنسان الغابة الحي الحديث. في معظم ملامحه، فقد كان يشبه شيمبانزيًا بوجهٍ أشبه بالخاص بإنسان الغابة. يدل شكل رسغيه ومناسيب جسده أنه كان يقضي وقته بين المشي على الأرض والتنقل فوق الأشجار. وكان له أسنان نابية كبيرة وضروس ثقية توحي بنظام غذائب من طعام قاسٍ خشن نسبيًا، كالبذور وعشب الساڤانا. ويعتقد أنه ذو قرابة تطورية مع إنسان الغابة المعاصر نظرًا لتشابه جمجمته معه.

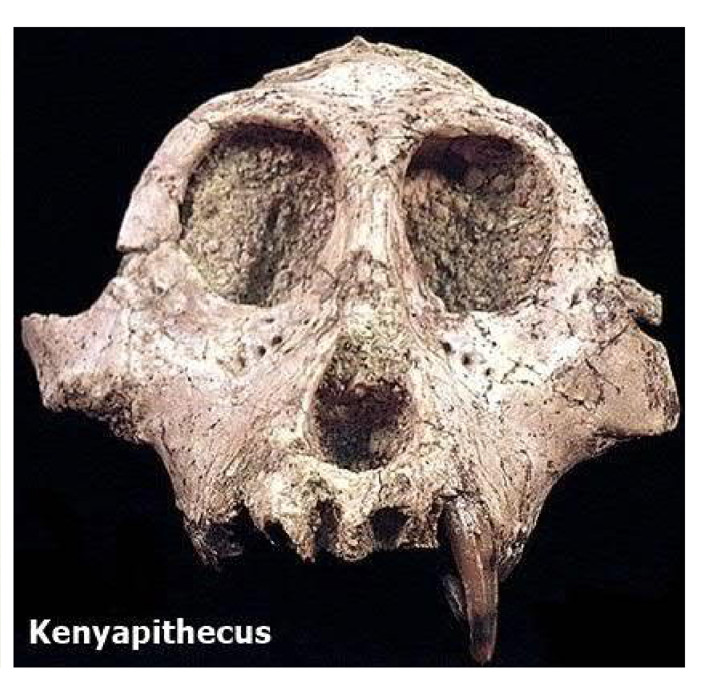
جيدٍ لهم. لذلك نستطيع إعادة بناء رؤوس الشيڤَابِثِكِيَّات sivapithecids على نحو جيد حقًّا، لكننا لا نعرف إلا القليل عن تشريح أجسادهم ووضعية وقوفهم وطريقة حركتهم.



الصورة ١٩– ١٣ التوزع الجغرافي للشيڤَابِثِكِيَّات sivapithecids. لقد مُنِحَتْ عيناتهم من عصر المَيوسين [الحديث الأوسط] من كينيا والمجر [هانجاري] واليونان وتركيا والهند والصين كلها أسماءً مختلفة. وإن الجنس الضخم Gigantopithecus [القرد العملاق] المنقرض الذي عاش في عصر البِلَيْستوسين وإنسان الغابة أورانج أوتان (Pongo) الحي المعاصر متحدِّرون شيڤابِثِكِيُّون sivapithecid متأخرين زمنيًّا.













لقد خُصِّصَتْ أسماءٌ مختلفةٌ كثيرة للشيفَّابِثِكِيَّات sivapithecids في دول اكتشافهم. لقد أُعْطِيَت عيناتُ المجر [هنجاري] وتركيا والهند والصين واليونان كلها أسماء مختلفة، كمثال. وإن جزءًا من مشكلة تسمية الشيفَّابِثِكِيَّات sivapithecids هي أن هناك قَدرًا كبيرًا من التباين بين الأفراد. وكما في إنسان الغابة المعاصر، فإن جماجم الذكور أكبر بكثير وأعرض من الخاصة بالإناث.

كان لكل الشيفَّابِثِكِيَّات sivapithecids مينا سميكة في أسنانهم وفكوك قوية، مما يوحي بأن نظامهم الغذائي تطلب مضغًا مُطَوَّلًا وقوةَ ضغطٍ كبيرةٍ على الأسنان. في الرئيسيات الأحياء ذوي المينا السميكة _كإنسان الغابة وقرود المَنْجَبِي mangabeys [المنجبي من فصيلة قرود العالم القديم ذوي الذيل

Cercopithecidae]_ ترتبط الأسنان والفكوك المشابهة كتلك بنظامٍ غذائي من الجوز والبندق أو الفواكه ذوات القشرة القاسية. يستطيع المرءُ سماعَ تكسير إنسان الغابة لحبات الجوز من على بعد عدة أمتار! ربما اختلفت وتباعدت الشيفَّابتِكِيَّات sivapithecids تطوريًّا عن النظام الغذائي الخاص بالدريوبتِكِيَّات dryomorphs المكوَّن من أوراق أشجار طرية وفواكه، لكي يستغلوا مصدرَ غذاءٍ كان متاحًا حتى ذلك الوقت فقط للخنازير والقوارض والدببة.

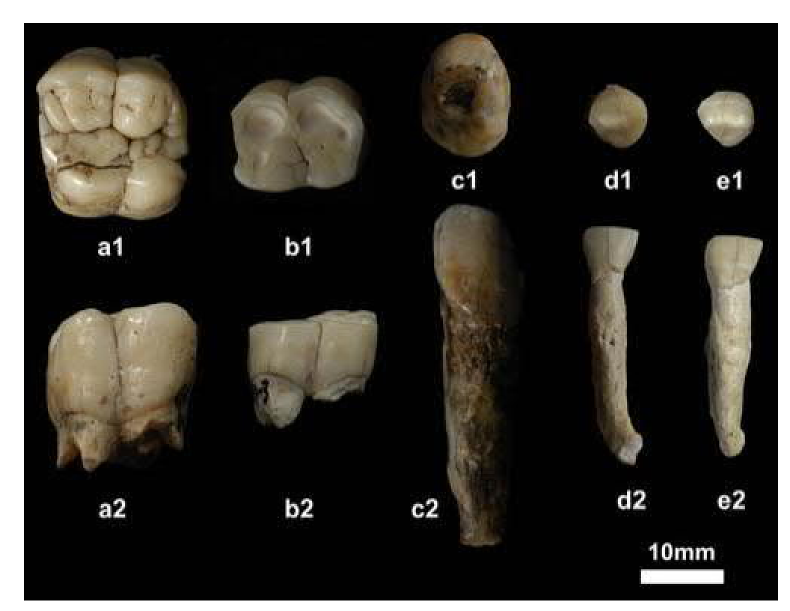
يمكن أن يكون أكل حبات الجوز والبندق نشاطًا خاصًّا بقاطني الأشجار أو الأرض أو الكائنات[1] الذين كانوا يقومون بنقلة تطورية وإيكولُجِيَّة [خاصة بطريقة الحياة] من العيش في الأراضي ذوات الأشجار إلى الأراضي المكشوفة. لا نزال لا نستطيع بعدُ تقرير ما إذا كانت الشيفَّابتِكِيَّات sivapithecids ارتعت وبحثت عن الفواكه والجوز والبندق على الأشجار (مع حياة في الأشجار مشابهة للخاص بإنسان الغابة) أم تحت الأشجار (مع تكيفاتٍ للعيش الأرضي).

كان جنسٌ متأخرٌ زمنيًّا من الشيفَّابتِكِيَّات متكيفًا للعيش على نحو كامل على الأرض. عاش القرد الضخم Gigantopithecus [القرد العملاق] في جنوبي وشرقي آسيا منذ حوالي سبعة ملايين سنة وحتى عصر البِلَيستوسين. وكان له أسنان طاحنة ضخمة وكان وزنه مئاتٍ من الأرطال [كان طوله واقفًا يقدر بثلاثة أمتار ووزَن حسب تقديراتٍ ٥٤٠ إلى ٦٠٠ كجم (١١٩٠ إلى ١٣٢٠ رطلًا)] (الصور ١٩– ١٤). لقد عاش على الأرجح على مواد نباتية غليظة خشنة جدًّا كغذاء، كنظير إيكولُجِيّ للكسلان القاطن الأرض المنقرض الخاص بعصر البِلَيْستوسين في أمِركا، أو الباندا الآسيوية العملاقة، أو الجورِلَا (الغوريلَّا) الجبلية الأفريقية. ظل Gigantopithecus على قيد الحياة في آسيا حتى زمن قريبٍ منذ حوالي ٣٠٠ الف أو ٢٥٠ ألف سنة ماضية. لقد عاصر يقينًا جنس البشريين Homo [المقصود هنا أقارب أسلاف البشر] في شرق آسيا، وربما كانت عظامه وأسنانه وفكوكه مصدر الفلكلور أو التراث الشعبي الخاص بسكان منطقة الهيمالايا عن رجل الثلج البغيض، أو اليتي yeti.





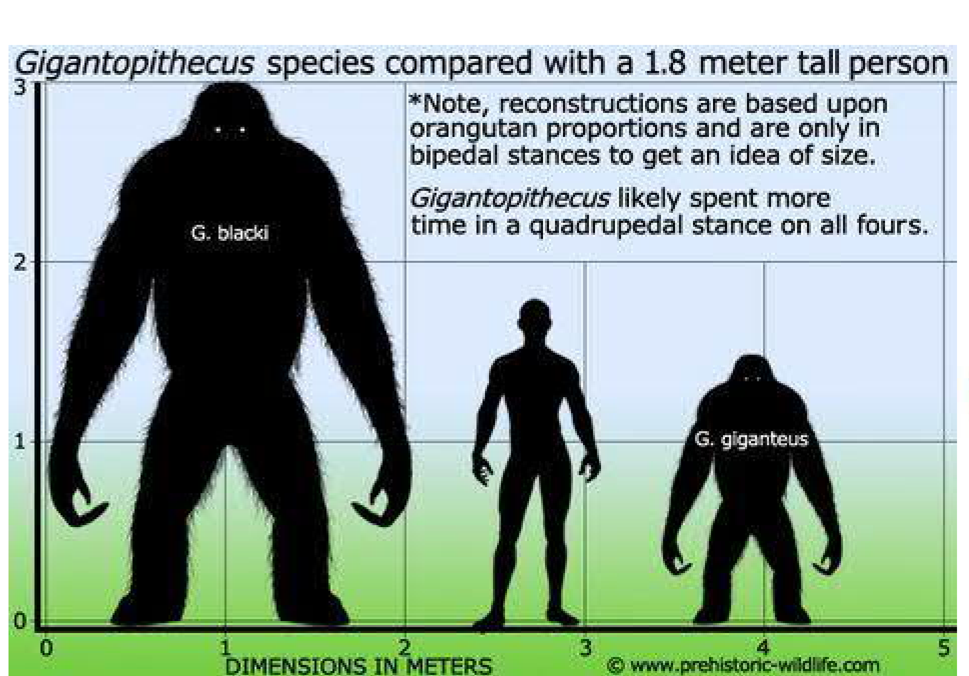
[1] استعمال ضمائر العاقل كجمع المذكر في حق الكائنات المتطورة متعمَّد، حتى لو خالفنا وكسرنا بعض قواعد اللغة الصرفية المترسخة- المترجم.



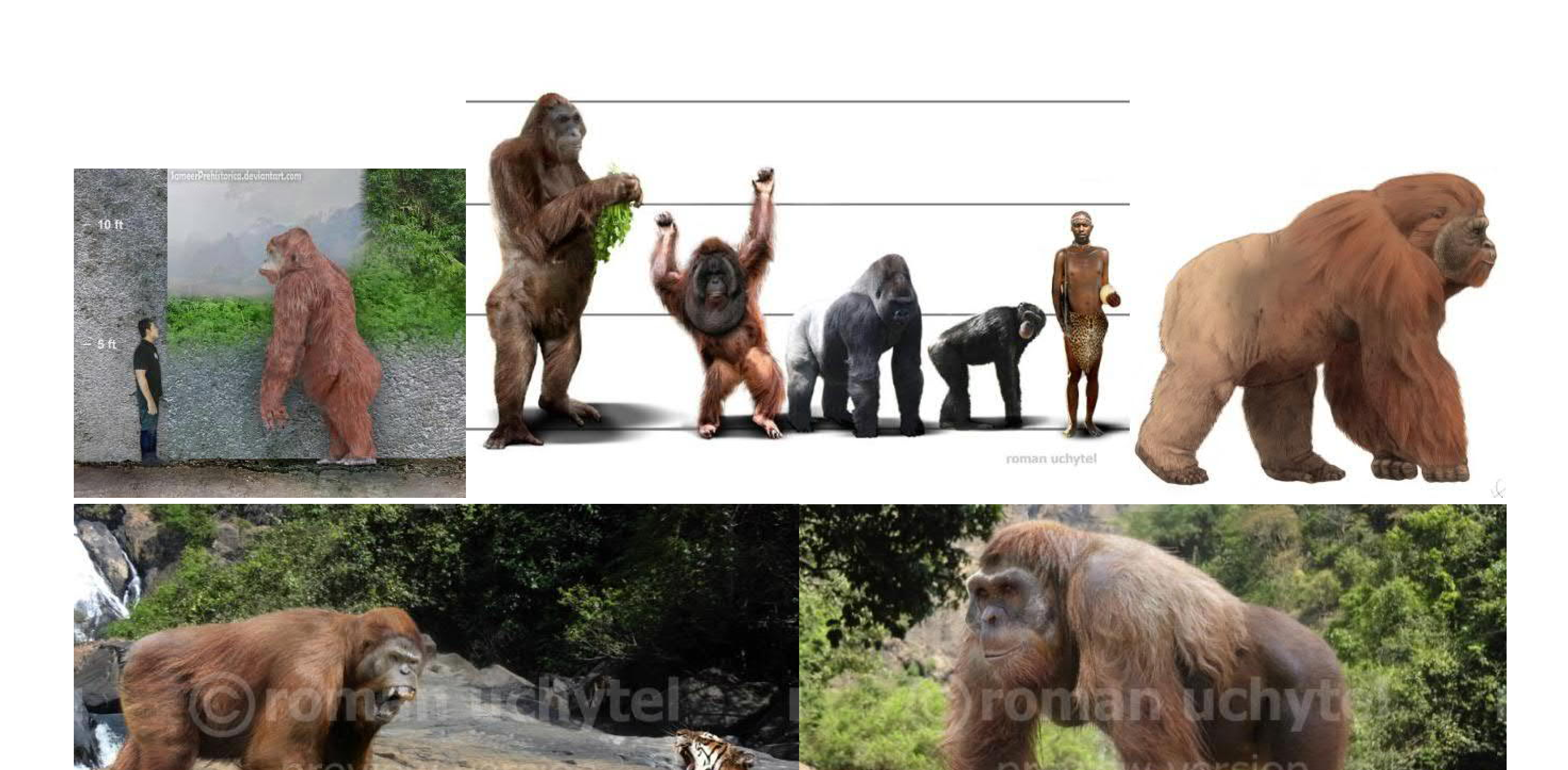




فكوك وأسنان متحجرة للقرد العملاق Gigantopithecus، أضخم قرد عاش على كوكب الأرض في كل تاريخه





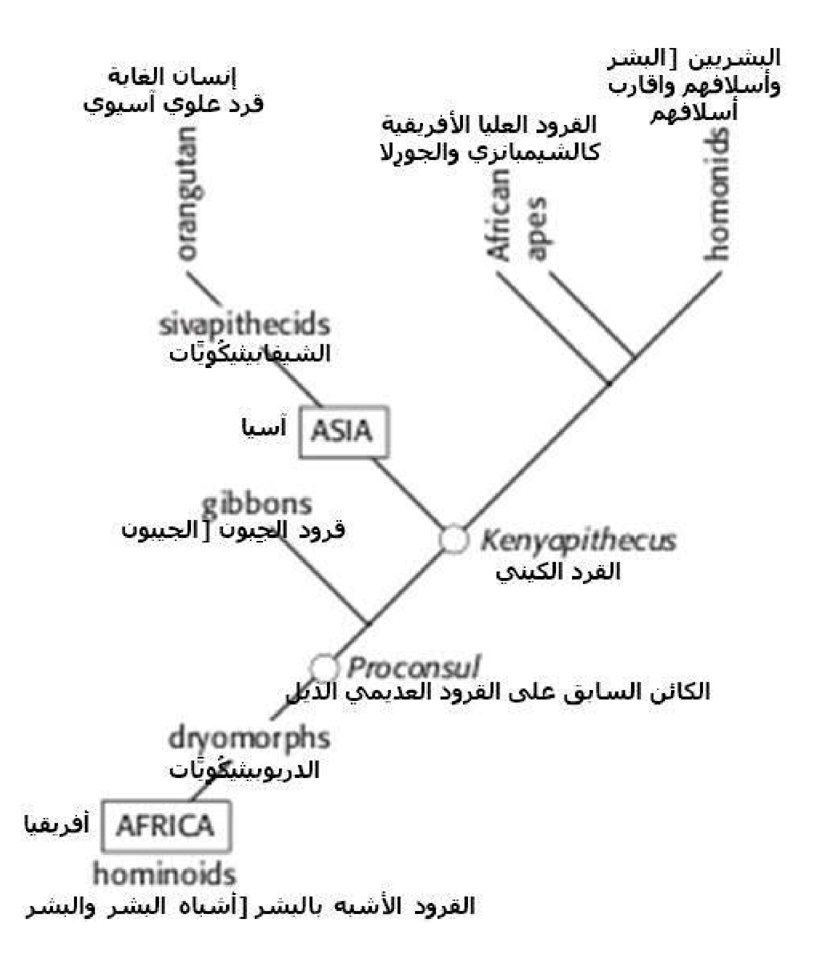






الصور ١٩– ١٤ إعادات بناء للقرد الآسيوي الضخم الشيڤابِثِكِيِّ العملاق Gigantopithecus

لقد أصبح واضحًا حاليًّا أن الشيڤَابثِكِيَّات أو قرود شيڤا sivapithecids ليس لها علاقة بأسلاف البشر لكنها بدلًا من ذلك كان أحد فروعها سلفًا للقرد العلوي الآسيوي الحي إنسان الغابة. وفي أفريقيا، تطورت الدريوبثِكِيَّات dryomorphs باتجاه القرود الأشبه بالبشر [والبشر] hominids (المخطط التطوري الشجري ١٩– ١٥). تقترح الساعة الجُزَيئية البيولُجِيَّة زمن ١٧ مليون سنة ماضية كوقتٍ لحدوث التباعد [الانفصال] التطوري، ويبدو أن المتحجرات الجديدة من كينيا تتفق مع هذا التقدير.



الشجرة التطورية ١٩– ١٥ شجرة تطورية تُظْهِر الشيڤَابثِكِيَّات أو قرود شيڤًا على أنها تفرعت عن الدريوبثِكِيَّات، وتطوَّر عن أحد أنواعها إنسان الغابة orangutan في آسيا حيث كان سلفًا له في إطار تاريخ تطور القرود الأشبه بالبشر hominoids.

بعد حوالي ١١ مليون سنة من ذلك، انقطعت الهجرة بين أفريقيا وأوراسيا على نحو جوهري أساسي. تطورت مجموعات القرود الأشبه بالبشر hominoid على نحوٍ مستقلٍ في كلٍّ من أفريقيا وأوراسيا، مما أدى آخرَ الأمر إلى تطور ونشأة الشيڤَابثِكِيَّات sivapithecids في آسيا والقرود الأشبه بالبشر [والبشر] في أفريقيا. إن سجل متحجرات القرود الأشبه بالبشر hominids ناقص على نحو رهيب في أثناء الزمن المهم الحاسم بعد ١١ مليون سنة عندما تشعَّبوا ليصيروا خطوطَ تحدرٍ منفصلة؛ فنحن بوضوحٍ لا نزال لا نملك تلك المتحجرات بعدُ.

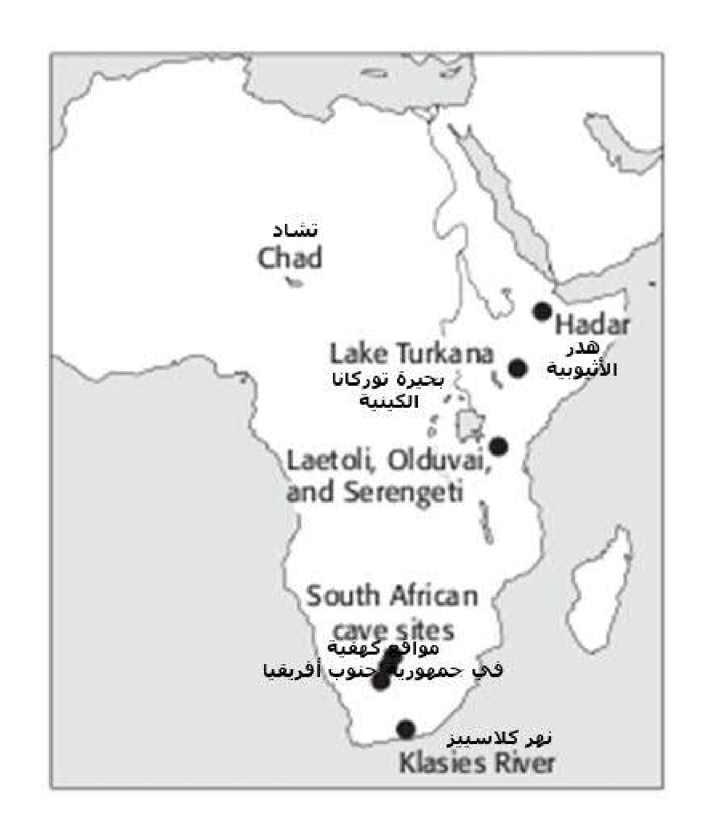
فيما بين الـ ٨ و٥ ملايين الماضية، تغير مناخ أوراسيا ببطء ليشجِّع على وجود أراضٍ معشوشبةٍ مكشوفة أكثرَ بعدُ بدلًا من الأراضي المشجَّرة والغابات. بالتالي صار تاريخ القرود العديمي الذيل الأوروآسيويين تاريخًا من الكفاح للبقاء على قيد الحياة عوضًا عن أنْ يكون تاريخ ابتكارٍ وتطورٍ. اندثرت الدريوبثِكِيَّات dryomorphs الأوروآسيوية منذ حوالي ٨ ملايين سنة ماضية، وكان الشيڤَابثِكِيَّات sivapithecids المتبقّون أحيَّاءً الوحيدون هم الشرق آسيويين منهم والذي أدَّوًا إلى تطور Gigantopithecus [القرد العملاق] المنقرض وإنسان الغابة. هذا يعني أن أوراسيا ليست القارة التي علينا أن نبحث فيها عن الأسلاف المباشرين للبشر (راجع الشجرة التطورية ١٩– ١٥). إن القصة الأفريقية هي ما ينبغي أن نتتبعه الآن. بحلول زمن ٧ حتى ٥ ملايين سنة ماضية، هيمن القرود ذوو الذيل على الغابات الأفريقية، وحلوا محل الدريوبثِكِيَّات إيكولُجِيًّا وربما ضَيَّقوا على كل القرود العديمي الذيل القاطني الغابات المتبقِّين. هذه هي الفترة الزمنية الجيولُجية البيولُجِية التي نستطيع أن نبحث فيها ونتطلع قُدُمًا لاكتشافاتٍ مفاجئة في المستقبل القريب.

الفصل العشرون: التطور باتجاه البشر

إننا لا نعرف تقريبًا أي شيء عن تطور خطي تحدُّرِ القرود الأشبه بالبشر hominoid الذي أدَّى إلى نشأة الجورِلَات [الغوريلَّات] والشيمبانزي. تدل الأدلة من علم البيولُجي الجزيئية والجينات أن أقرب أقاربنا التطوريين الأحياء هم الشيمبانزيَات، بينما الجورِلَات أبعد قرابةً قليلًا منها لنا. أما فرعنا التحدري التطوري الخاص بنا، hominids [البشريين: البشر وأسلافهم وأقارب اسلافهم]، فقد انفصل على الأرجح عن الخط الخاص بالشيمبنزي [بأي عن سلالته التطورية] من حوالي ٥ أو ٦ ملايين سنة. رغم ذلك، فإن حمضنا النووي DNA يتطابق بنسبة ٩٥% مع الخاص بالشيمبانزيات. على نحو واضح فإن الـ ٥% التي تختلف تعكس تغيُّراتٍ تطوريةً هامةً في أجسامنا وعقولنا وسوكياتنا.

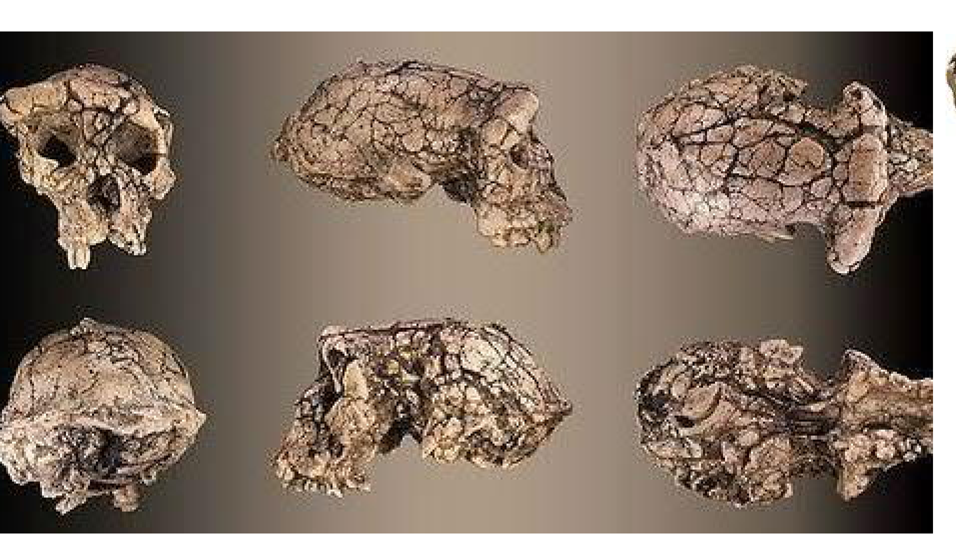
في خلال الزمن القديم، قد كانت هناك دستَّاتٌ تقريبًا [أيْ: مجموعاتٌ كثيرة] من أنواع البشر، لكننا _نوع الإنسان العاقل أو المتدبِّر أو العارف Homo sapiens_ النوعُ الوحيد الباقي على قيد الحياة. لقد انقرض حوالي ستة أنواع بشرية Homo أقدم، يعود أقدمها إلى حوالي مليوني سنة ماضية، وكان هناك ستة أنواع بَشَرَانِيَّة hominid تُصَنَّف في العادة في الجنس Australopithecus [أُسترالوبِثِكُس، القرد البَشَرانيّ الجنوبيّ]، والتي يعود أقدمها إلى حوالي ٤ ملايين سنة ومن المقبول عمومًا علميًّا أنه يحتوي على أسلاف البشريِّين Homo [البشر وأقاربهم اللصيقين التطورين وأسلاف البشر وأقارب أسلافهم].

تُغَيَّر هذه الصورة بسرعةٍ مع اكتشافات بَشَرانيِّين hominids أقدم. فكونوا على حذرٍ منْ أنَّ كل ما قد كتبتُه في هذا الفصل هو محل جدال من جانب علماء المتحجرات وأشكال الحياة القديمة paleoanthropologists. لقد حاولتُ _كالعادة_ أن أختار ما أعتقد أنه أكثر الفرضيَّات رُجْحانًا.



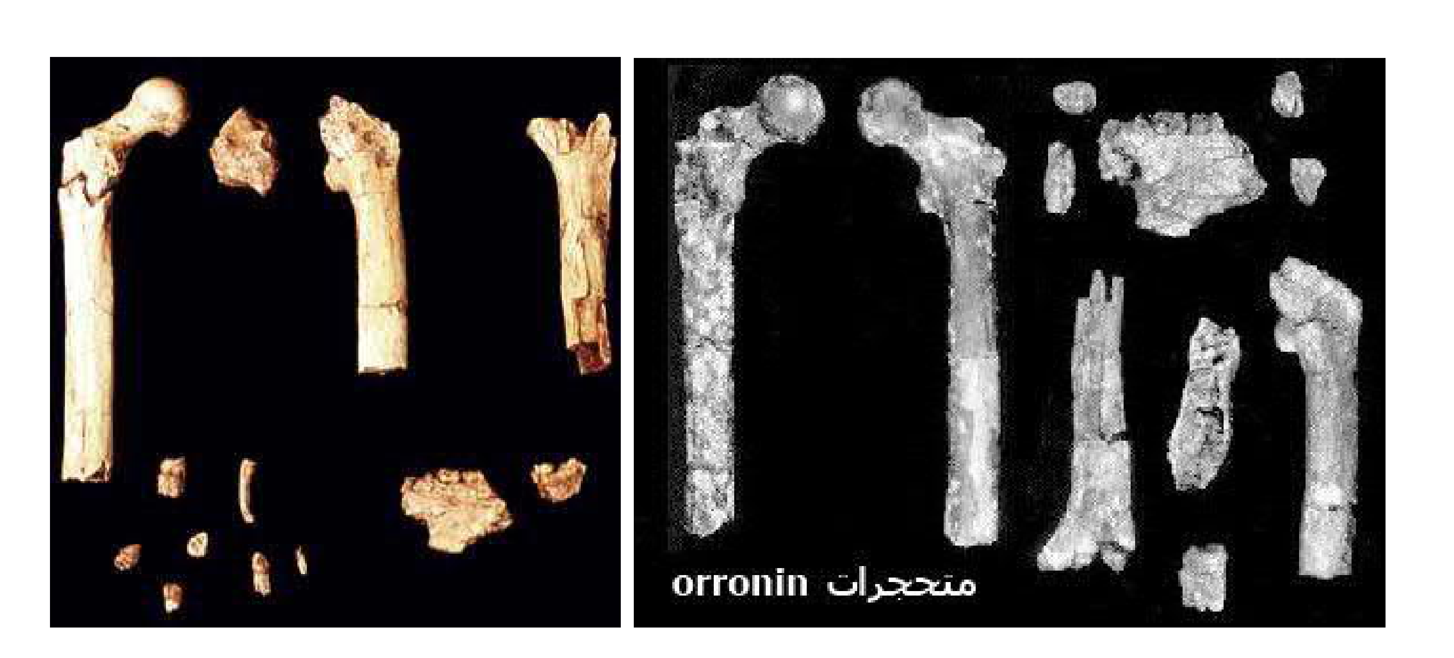
الرسم ٢٠- ١ خريطة لبعض المواقع المحتوية على متحجرات hominid بشرانيين وبشريين مهمة في أفريقيا.

ربما كان Sahelanthropus [القرد البشراني من ساحل تشاد] أقدمَ بَشَرانِيٍّ معثور على متحجرته على الآن، بعمر حوالي ٦ أو ٧ ملايين سنة ماضية. إنه من دولة تشاد، بعيدًا عن مواضع شرق أفريقيا المعتادة أو "الكلاسيكية" (الصورة ٢٠- ١ لمواقع متحجرات أفريقية هامة). إنه معروف من خلال متحجرات أجزاء من جمجمة، والتي تُظْهِر مزيجًا مُرْبِكًا من سمات "بدائية" جدًّا (مخ صغير الحجم، كمثال)، مع سماتٍ "متقدمة" مثل بروزَيْ الحاجبين. ربما يضطرنا إلى إعادة تقييم ماهية السمات التي هي بدائية حقًّا بالنسبة للبشريّين hominids. وإنه يتيح احتمالية العثور على المزيد من البشرانيين hominids المبكِّرين في تشاد وليس في شرق أفريقيا. رغم ذلك، فإن تلك الجمجمة الوحيدة مُحَطَّمة على نحو شديد، وإنه يُحْتَمَل أن إعادةَ بناءٍ مختلفةٍ لها ستسمح بتفسيرٍ وفهمٍ مختلفٍ لها. وكالمعتاد، نحتاج متحجراتٍ أكثرَ!

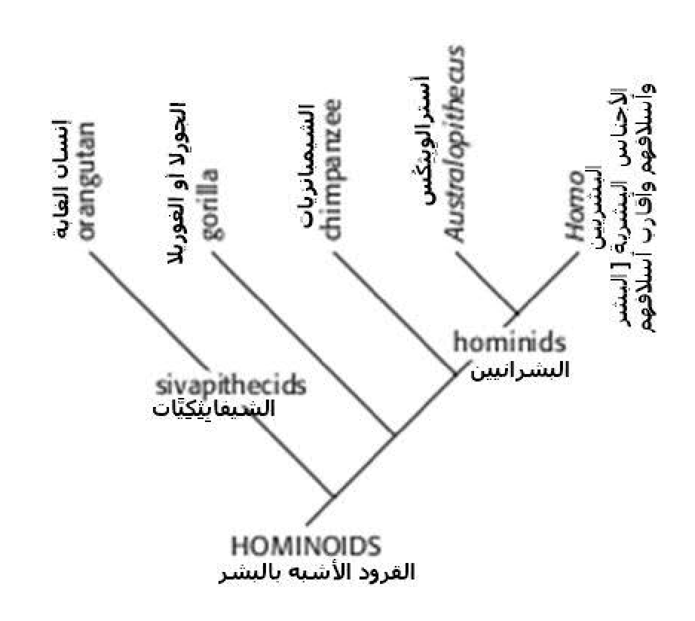




ويؤرِّخ Orrorin[1] بعمر حوالي ٦ ملايين سنة ماضية في شرق أفريقيا، وهو أقرب بكثيرٍ نقطة الانفصال التطوري بين الجورِلَات [الغوريلّات] والشيمبانزيات و hominids البشرانيين والبشريين. إنه معروفٌ من عيناتٍ قليلة في معظمها متحجرات عظام أطراف، وفك سفلي، لذلك يصعب تصنيفه على نحوٍ يقينيٍ. تسربت تلميحات مختلسة من أفراد فريق الاكتشاف المتنافسين أنه ربما كان في الحقيقية سلفًا للجورِلات أو الشيمبانزيات، بدلًا من أنْ يكونَ بَشَرانيًّا hominid.



وحيث أننا لا نستطيع حتى الآن تقديم قصة معقولة عن التطور المبكر جدًّا للبشرانيين hominids، فسننتقل إلى الأُسترالوبِثِكِيّين australopithecines، وهي الأنواع البشرانية hominid التي ليست بشريِّين Homo. عاش أولئك البَشَرانِيّين في أفريقيا، جنوبَ الصحراء الكبرى، منذ حوالي ٤, ٤ – ٣, ٤ مليون سنة ماضية إلى حوالي ٤, ١ مليون سنة ماضية أو لاحقًا بعد ذلك بقليل. في العموم، فإننا متأكدون على نحو معقول من موضع الأُسترالوبِثِكِيّين australopithecines في تطور البشرانيين hominids (الصورة ٢٠– ٢ لمخطط شجرة تطورية). ولدينا أدلة كافية [من المتحجرات] لنعيد بناء صورة مليئة بالحياة لحياة الأُسترالوبِثِكِيَّات.



[1] معنى Orrorin أورورين أي الإنسان الأول أو الأصل بلغة Tugen، وهو اسم يقترح افتراضًا غير مؤكَّد ومحل خلاف. كان رأس عظمة فخذه كرويًّا ومتجهًا إلى الأمام، وكانت الرقبة مستطالة وبيضاوية البنية وكان المَدْوَر الصغير lesser trochanter بارزًا في الاتجاه الإنسي (عكس القاصي) medially. وبينما يوحي هذا بأن Orrorin كان ماشيًا على قدمين، فإن باقي الجسم ما خلف الجمجمة يدل على أنه تسلق الأشجار. ويُعتبَر أورورين توجنسيس (بالإنجليزية: Orrorin tugenensis) ثاني أقدم قرد بشراني معروف وقد يكون سلفًا للبشر أو قريبًا تطوريًّا لأسلاف البشر. تعود اهمية الاورورين إلى انه ربما يكون من أوائل أشباه البشر الذين ساروا على قدمين. أعطي المكتشفين الاسم توجنسيس من تلال توجن واورورين من اللغة المحلية والتي تعني "الرجل الاصلي"[١] حيث وجدوا مستحاثات الاورورين في تلال توجين في كينيا سنة ٢٠٠٠. ويُصنَّف ضمن رتبة الرئيسيات، فصيلة البشرانيين Hominidae.

الصورة ٢٠-٢ مخطط شجرة تطورية. انفصال البشرانيين أو أشباه البشر hominids عن القرود والعليا العديمي الذيل الآسيوية والأفريقية. نشأة البشرانيين هي أيضًا النقطة التي تطور عندها الوقوف والمشي على قدمين. لا يمثل الجورلا والشيمانزي فرعًا تطوريًا واحدًا في هذه الفرضية، والتي تفترض أن الشيمبانزيات أقرب إلى البشرانيين مما هم إلى الجورلات.

الأُسترالوبِثِكيّون australopithecines [القرود البشرانية الجنوبية]

الأُسترالوبِثِكيّون المُبكّرون

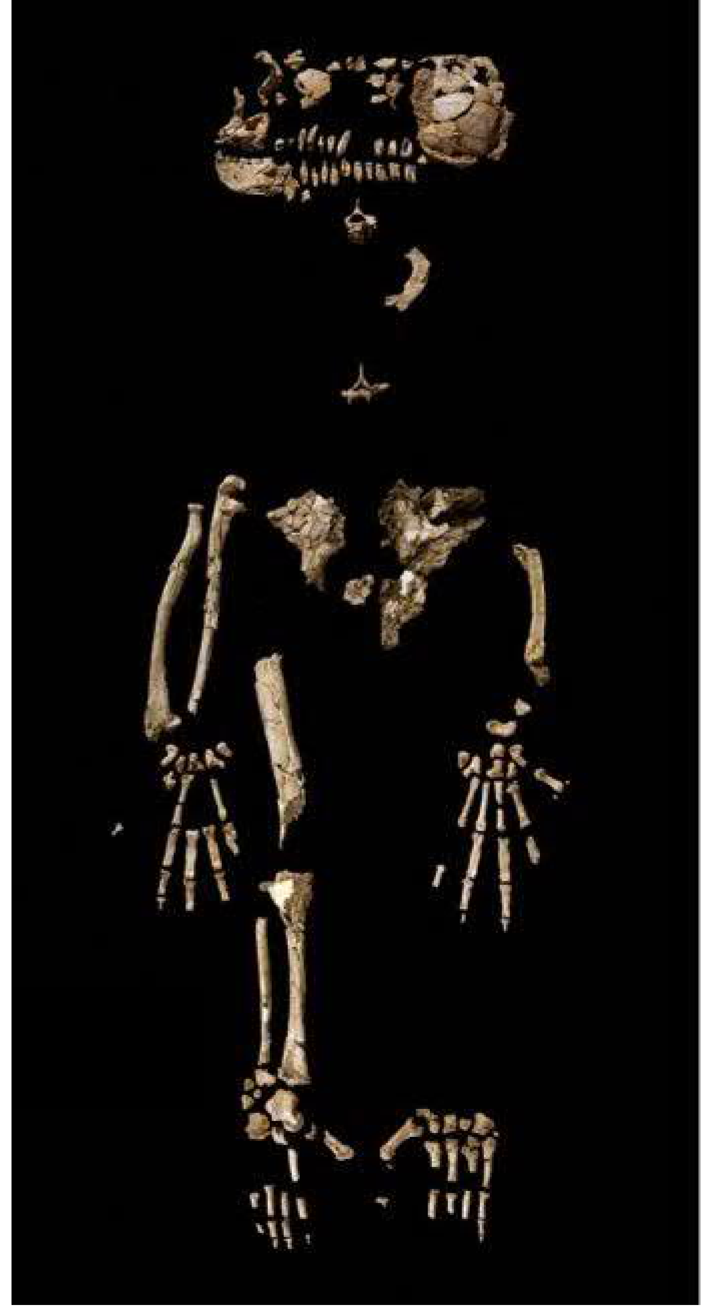
أقدم نوعين من الأُسترالوبِثِكيّين australopithecines هما Ardipithecus ramidus[1] [القرد البشراني الأصل أو الأرضي من كلمة أرض، ومعنى رَميد في الأمهرية أي الأصل أو الجذر أيضًا] الموصوف من متحجرة معثور عليها في صخورٍ في أثيوبيا ويؤرَّخ بما يترواح بين ٣, ٤ إلى ٤, ٤ مليون سنة ماضية، و Australopithecus anamensis[2] [أنام بلغة توركانا يعني البحيرة، فهو البحيري] الموصوف من صخور في كينيا ويؤرَّخ بما يتراوح بين ١, ٤ و٢, ٤ مليون سنة ماضية. Ardipithecus ramidus هو أكثر أُسترالوبِثِكيٍّ australopithecine بدائيةً (أيْ أنه شبيه بالقرود العلوية) مكتَشَف حتى الآن، وكان على الأرجح قاطنًا للغابات. أما Australopithecus anamensis الأحدث زمنيًّا قليلًا منه فكان له فك أكثر شبهًا بالخاص بالقرود العليا، لكن متحجرات عظام ذراعه ورجله توحي بأنه كان ذا وضعية وقوف ومشي منتصِبة (واقف وماشٍ على قدمين اثنتين). إنه يصلُحُ أنْ يكونَ سلفًا ملائِمًا محتمَلًا للأُسْتْرَالوبِثِكيّين اللاحقين؛ في الواقع فإن بعض العَيّنات المصنَّفة حاليًّا على أنها Australopithecus afarensis [القرد البشراني الجنوبي العفاري، المنسوب لعفار الإثيوبية] ربما تكون في الحقيقة تنتمي إلى Australopithecus anamensis. وكان Australopithecus anamensis كبير الحجم، يُقدَّر وزنُه بحوالَيْ ٥٠ كجم (١١٠ أرطالٍ). لا تزال عينات جديدة تُنَظَّف، وسوف تَخرج معلوماتٌ جديدةٌ في السنوات القلائل القادمات. رغم ذلك، فإنه من الصحيحِ القولُ بأنه لا توجد مفاجآت تطورية كبيرة (حتى الآن) في تلك المتحجرات المكتشَفة الجديدة.

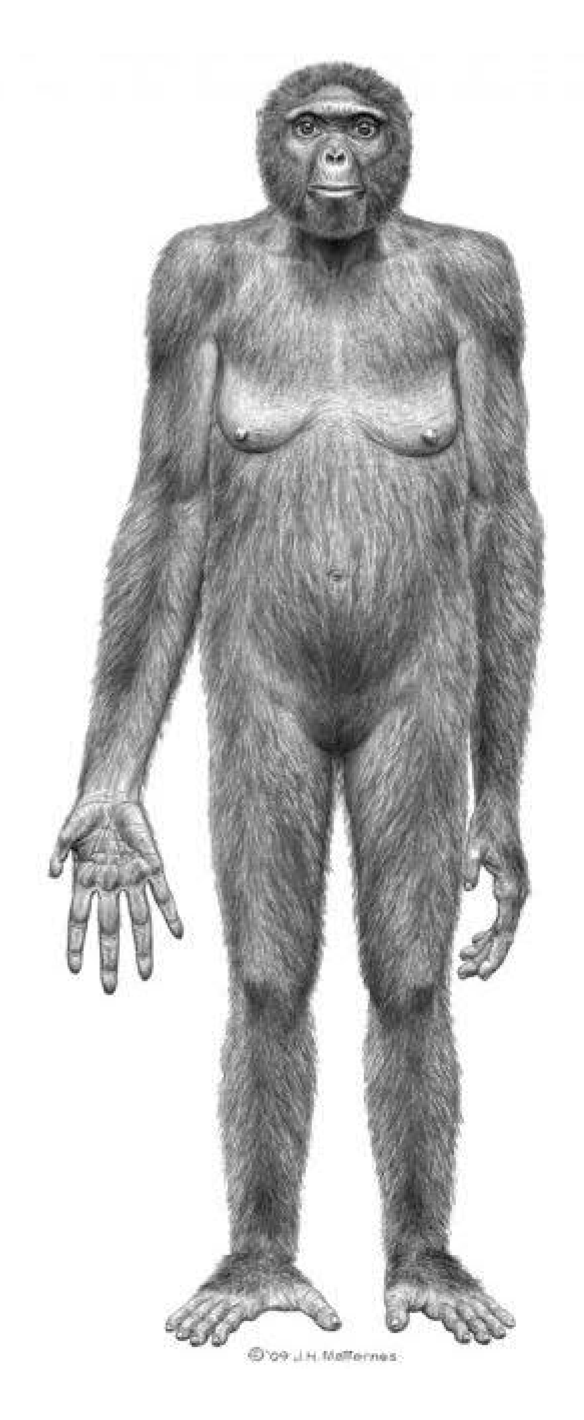
---

[1] كان Ardipithecus ramidus مثل معظم القرود الأشبه بالبشر، وبخلاف كل البشرانيين المعروفين سابقا، له إصبع قدم إبهام طويل قادر على الإمساك متكيف للتحرك على الأشجار. ليس مؤكدًا مدى ما كانت تدل عليه سمات الهيكل العظمي الأخرى من تكيفٍ للمشي على قدمين على الأرض. وتشير الدراسات على خليج أليا Allia Bay شرقي توركانا وهو موقع اكتشاف العينة، من خلال تحليل النظائر المشعة المستقرة أن البيئة كانت تحتوي هناك على أراضٍ مشجَّرة متلاصقة كثيفة مشكلة لمظلة شجرية مع وجود مناخ أكثر رطوبة، ومساحات ساڤانا في الأراضي العليا. وكمعظم البشرانيين اللاحقين زمنيًّا، كان له اسنان نابية مختزلة منقوصة. عثر على أول متحجرته في منخفض عفار في وادي نهر أواش الأوسط Middle Awash في إثيوبيا. كان له مخ صغير، يقدر بما بين ٣٠٠ إلى ٣٥٠ سم مكعب. وهو حجم أصغر بقليل من مخ البونوبو الحديث المعاصر (نوع من الشيمبانزي) أو مخ أنثى الشيمبانزي الشائع، لكنه أصغر بحجم أسترالوبِثِكيّين مثل العينة المسماة لوسي [من النوع العفاري] (تتراوح التقديرات لحجمه بما بين ٤٠٠ إلى ٥٥٠ سم مكعب)، فكان حجم مخ Ardipithecus ramidus حوالي ٢٠% من حجم مخ الإنسان العاقل الحديث تقريبًا. وكالشيمبانزي الحديث، كان Ardipithecus ramidus ذا فك بارز [متفقِّم] أكثر بكثير من البشر الحديثين. افتقدت أسنانه التخصص الخاص بالقرود العليا الأخرى، مما يوحي بأنه كان قارتًا أو آكل فواكه غير متخصص، ذا نظام غذائي لا يعتمد بشدة على أوراق الشجر والمواد النباتية الليفية كالجذور والدرنات ولا الغذاء الخشن ولا الصلب. لم يكن حجم الأسنان النابيّة العليا لذكوره تختلف على نحو مميَّز عن الخاصة بإناثه، وكانت أقل حدة من الخاصة بالشيمبانزي الشائع المعاصر، وهذا جزئيا لأن أسنان Ardipithecus ramidus النابيّة العلويّة كانت مختزلة، في حين يمكن شحذ أو سن الأسنان النابية العليا الأكبر من خلال البلى أو التآكل بالاحتكاك مع أسنان الفك السفلي. تتعارض سمات الأنياب العليا الخاصة بـ Ardipithecus ramidus مع ثنائية الشكل الجنسي أي اختلاف شكل الجنسين الملاحَظ في الشيمبانزيات، حيث يكون للذكور فيهم أنياب علوية أكبر وأكثر حدة من الإناث. طبيعة عدم بروز الأسنان النابية العليا في A. ramidus استُعمِلَتْ للاستدلال على على ملامح السلوك الاجتماعي لهذا النوع والأنواع البشرانية hominids الأكثر سلفيةً. وعلى وجه الخصوص، فقد استُعمِلَت للاقتراح بأن آخر نوع سلفي مشترك خاص بكل من البشرانيين والقرود العديمي الذيل كان يتميز بقلة العدوانية نسبيًّا بين الذكور وبين المجموعات. وهذا مختلف على نحو بارز عن الأنماط الاجتماعية في الشيمبانزيات الشائعين، الذين يكون العدوان فيهم بين الذكور وبين المجموعات عاليًا في العادة. وقد ذكر باحثون في دراسة في عام ٢٠٠٩ أن هذا الظرف له يشكك في كون الشيمبانزيات الأحياء نموذج سلفي مشابه للظرف البشراني hominid السلفي.

[2] يعتقد أن Australopithecus anamensis كان سلفا لـ Australopithecus afarensis أو قريبًا لأسلافه. من ضمن مكتَشَفات متحجراته، اكتشف عالم المتحجرات الكيني البريطاني المولد Meave Leakey وعالم الآثار Alan Walker أثناء التنقيب في منطقة خليج أليا عدة شظايا من هذا النوع، تتضمن فكًّا سفليًّا كاملًا يشبه للغاية فك الشيمبانزي الشائع، لكن تحمل اسنانه شبهًا أكبر بأسنان الإنسان. وبناءً على أدلة المتحجرات الغير كاملة والمحدودة من أجزاء الجسم الأخرى غير الجمجمة فإنه يُعتقد أن A. Anamensis كان يمشي على قدمين كطريقة معتادة له، فقد كان الطرف العلوي من عظمة الظنبوب (إحدى عظمتي الساق) بها منطقة متوسعة عظمية واتجاه لمفصل الكاحل شبيه بالاتجاه الخاص بالبشر، مما يدل على مشي على قدمين بانتظام واعتيادية، حيث تدعم الساق وزن الجسد كله. رغم أنه احتفظ ببعض السمات البدائية في طرفيه الأماميين، فيدل طول الطرفين الأماميين الطويلين وسمات عظام الرسغين أنه كان متسلقًا للأشجار أيضًا.







Ardipithecus ramidus





Australopithecus anamensis

آثار الأقدام في منطقة لَيْتُوْلِي Laetoli

يقسم الصدعُ الأفريقي الشرقي أفريقيا بدءًا إثيوبيا وحتى زامبيا ومَلاوي. وضمن سماته الجيولُجِيَّة الغير معتادة هي البراكين والتي تنفَث أحيانًا رمادًا مُكَرْبَنًا، والذي يتكوَّن في معظمه من مزيج غريب من كربونات الكالسيوم وكربونات الصوديوم. أحد هذه البراكين _وهو بركان سَيْدِمِنْ Sadiman_ ينتصب قربَ سهل سْرِنْجيتي، في شماليِّ تَنْزانيا (انظر الخريطة في الرسم ٢٠– ١). بعد أن يُنفَثَ الرماد المُكربَن البركاني، يذوب كربونات الصوديوم [الصوديوم المُكربَن] في أثناء هطول أول مطر تالٍ، وعندما يجف يتصلَّب الرماد كإسمنتٍ طبيعيٍّ. أي حيواناتٍ تتحرك فوق السطح الرطب الطري في غضون الساعات القلائل الحاسمة بينما يجف الرماد ستترك آثارَ أقدامٍ يمكن أنْ تُحْفَظَ على نحو جيدٍ جدًّا. فطالما غُطِّيَتْ آثارُ الأقدامِ سريعًا (كمثالٍ، بسقوط رماد بركاني آخر)، فإن المطَرَ المتخلِّلَ عبْرَ الرماد سيتفاعل مع الكربونات [المُكَرْبنات] ليجعل منها سجلًا ثابتًا.

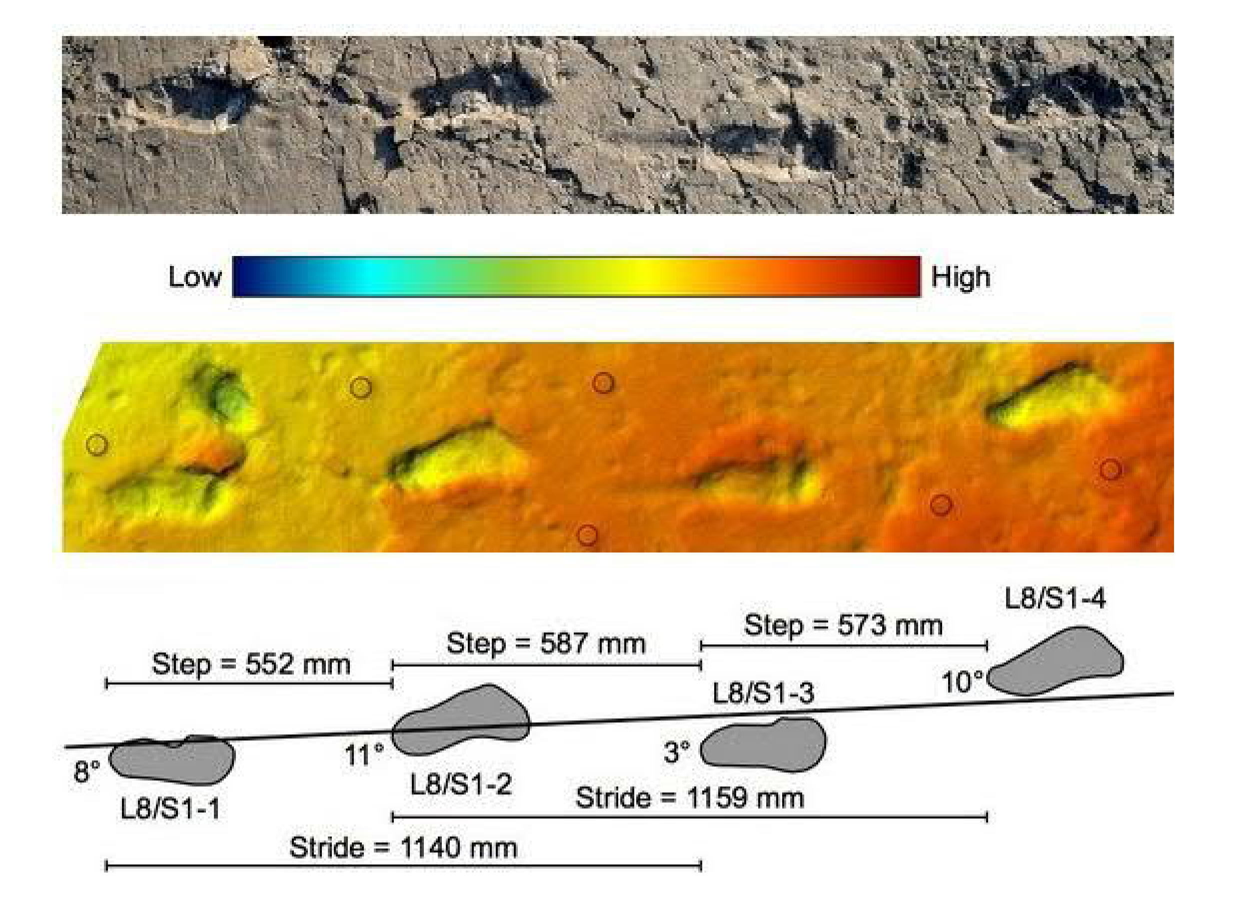
نَفَثَ بركانُ Sadiman ذاتَ يومٍ منذ حوالَيْ ٦, ٣ مليون سنة ماضية، قرب نهاية موسم الجفاف. سقط الرماد البركاني على السهول قرب منطقة لَيْتُوْلِي Laetoli، على بعد ٣٥ كم (٢٠ ميلًا)، ومشى بشرانِيَّان hominids عليها، تاركَيْنِ آثار أقدامهما على طول المسافة مع آثار أقدام كائنات أخرى. إن المسألة الهامة الحيوية بخصوص تلك الآثار هو أن البَشَرانِيَّيْن hominids كانا يسيران بقامة منتصبة بالكامل، منذ زمن طويل قبل أن يصل الفك والأسنان والجمجمة والمخ إلى المناسيب أو الشكل أو الوظيفة البشريَّة.

لماذا صار نوعٌ بَشرانيٌّ hominids سائرًا على قدمين؟ معظم الاقتراحات مرتبطة بحمل الأشياء باليدين والذراعين (الأطفال والأسلحة والأدوات والطعام)، أو لجمع الطعام (بالرؤية من مسافات أبعد، والبحث على مدى مسافات أكبر، والتسلق عموديًّا، والوصول لأماكن عالية بدون التسلق على الإطلاق)، وللدفاع (الرؤية من مسافات أكبر، ورمي الحجارة، وحمل الأسلحة)، أو لمقاومة أفضل لضغط الحرارة (تعرق أقل وتبريد أفضل)، أو للبقاء حاصلين على المصادر الغذائية الثريَّة بالهجرة مع الحيوانات الخاصة بالسهول الفسيحة (ومن ضمن ذلك حمل الصغار العاجزين طوال المسافات الكبيرة). كلُّ هؤلاءِ احتمالاتٌ معقولاتٌ، لكنها كلها يصعُبُ اختبارُها.





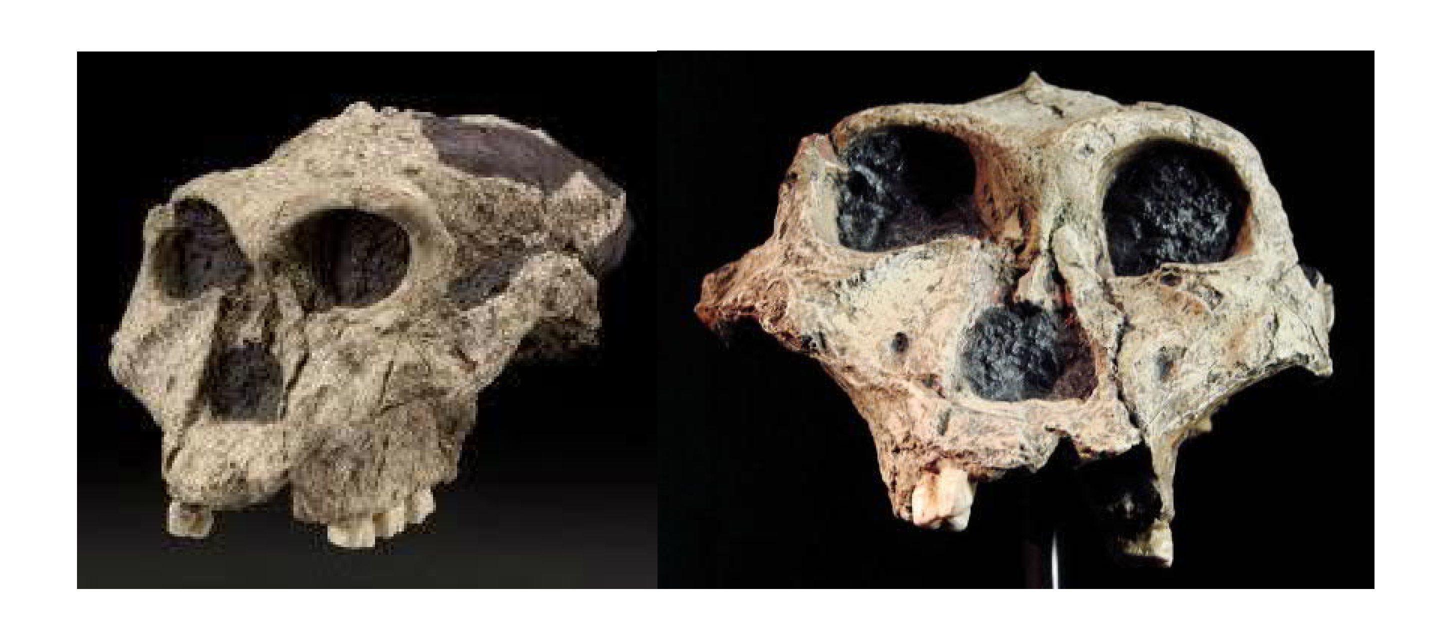
آثار أقدام Laetoli



إنـه ليقينـيٌ أنَّ آثار الأقدام فـي لَيْتُوْلِي Laetoli قد خلفَّها أُستـرالوبيثِكِيَّان كانـا يسيرانِ منتصبي القامـة. إن كـل الأُستـرالوبِثِكِيَّات australopithecines [القرود البشرانية الجنوبية] متشابهون فيما هو أسفل الرقبة، لو استثنينا اختلافاتِ الحجم، بالتالي فقد تحرَّكوا كلهم على الأرجح بنفس الطريقة تقريبًا. كانت طرق تحركهم على الأرجح ليست مماثلة بالضبط للخاصة بنا، لكنَّ متحجرات أرجلهم وأوراكهم تدل على أنهم مشَوْا وركَضُوْا على نحوٍ جيدٍ، وتدل مفاصل الأطراف وأصابع القدمين على أنهم قضَوْا الكثيرَ من الوقت متسلِّقين للأشجار وأيضًا ماشين منتصبي القامة على الأرض.

لقد بدأ الميل أو النزعة إلى استعمال الطرفين الأماميين لجمع الطعام والخلفيين للتحرك على الأرجح في الرئيسيَّات القاطني الأشجارِ منذ زمن طويل قبل Australopithecus [القردِ البَشَرانيّ الجنوبيّ، أُسْترالوبِثِكُسْ]. لكنَّ هذا الاعتقاد يقوم على نحوٍ رئيسيّ على تجربتي الشخصية الخاصة بي في التقاط وأكل الفاكهة، وإدراك أن الطرفين الأماميين أكثر فاعليةً لتلك المهمة من الأسنان والفكين وحدَهما. لقد كان الإنجاز النهائي للمشية والوقفة المنتصبة على قدمين على الأرض على الأرجح توسعة لطريقة التحرك والسلوك السابق؛ عوضًا أن يكون شيئًا مختلفًا تمامًا.

كان الأُسترالوبِثِكيُّون [أو الأنواع الأُسترالوبِثِكِيَّة] Australopithecines أصغر حجمًا من معظم البشر الحديثين. لقد كان متوسط أوزانهم ٤٠ كجم (٩٠ رطلًا) كبالغين، لكن عظامهم كانت قويَّةَ البِنْيَةِ بالنسبة لأحجامهم. كانت الجمجمة أقوى بعدُ، ومختلفة جدًّا عن الجمجمة الخاصة بنا (الصورة ٢٠- ٣ أ). كان الحجم النسبي للمخ [مقارنة بحجم الجسد] حوالَيْ نصف حجم الخاص بنا، حتى مع اعتبار حجم الجسد الأصغر الخاص بالأُسْترالوبِثِكُسْ، لكنَّ الفكَّ كان ثقيلًا، وكانت الأسنان _وخاصةً الأسنان الخَدِّيَّة أيْ الخلفيَّة_ ضخمة بالنسبة لحجم الجسد. وكانت الأسنان النابيَّة كبيرةً وبارزةً. توحي كامل بِنْيَة الفكين والأسنان بالقوة (الصورة ٢٠- ٣ ب).





الصورتان ٢٠- ٣ جمجمة وفك وأسنان الأُستراليوبِثِكِيّين (أ) جمجمة Australopithecus robustus [القرد البَشَرانيّ الجنوبيّ من النوع القويّ]. (ب) أسنان وفك Australopithecus afarensis [القرد البَشَرانيّ الجنوبيّ من النوع العفاريّ، المنسوب إلى عفار بإثيوبيا] العينة رقم AL–400.

إن الحجم الصغير لمخ الأُسْتُرَالوبِثِكِيّين وسماكة جماجمهم ربما تكون مرتبطةً بسمةٍ أخرى تميّزنا عن الأُسْترالوبِثِكُسْ. إن قناة الولادة في حوض إناث الأُسترالوبِثِكِيَّات واسع من جانبٍ إلى الآخر، لكنه ضَيقٌ من الأمام إلى الخلف، بحيث أنه ربما كانت هناك طريقة خاصة للولادة حتى بالنسبة للأطفال صغار الأدمغة الذين كانت تنجبهم إناث الأُسْترالوبِثِكُسيّينَ (الصورة ٢٠- ٤). أما في البشريّين Homo، فإن قناة الولادة أكثرُ استدارةً (الصورة ٢٠- ٤)، ويُفْتَرَضُ أن ذلك للتلاؤمِ مع مرورِ طفلٍ ذي رأسٍ كبيرٍ جدًّا (ومخٍّ كبيرٍ جدًّا). ولو كان الأمر كذلكَ، فإن المخ الأكبرَ حجمًا كان مهمًّا متطلَّبًا على نحو كافٍ لدرجة أن هذا الاختلاف المرئيَّ الظاهرَ في بنية الهيكل العظمي تطوَّرَ في جنس البشريّين Homo.





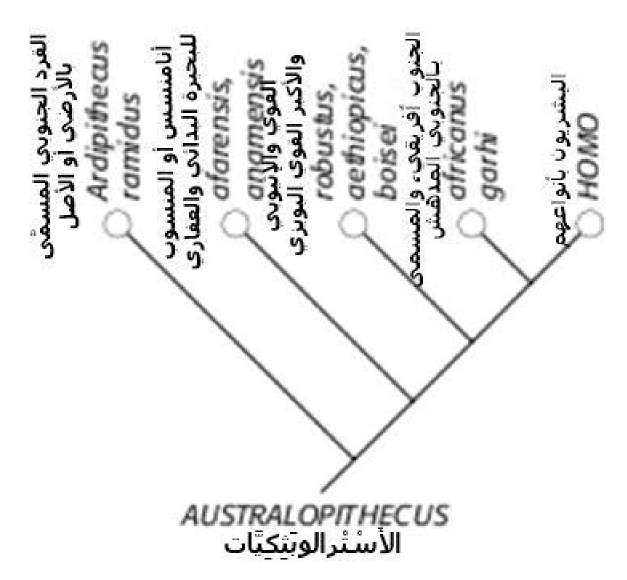
الصورة ٢٠- ٤ الاختلاف في البنية بين عظم حوض امرأة حديثة (صورة لحوض أنثى إنسان عاقل Homo sapiens)، وإعادة بناء لشكل حوض متحجرة الأنثى الأُسترالوبِثِكِيَّة المعروفة بلوسي من نوع Australopithecus afarensis [القرد البشراني الجنوبي من النوع العفاريّ]. إن القناة الحوضية الحديثة للبشر الحديثين (إناثهم) أكثرُ استدارةً، ويُفْتَرَضُ أن ذلك للتلاؤمِ مع ولادة طفلٍ ذي مخٍّ أكبرَ من خلالها.



ومثلنا، كانت بنية الأُسْترالوبِثِكِيِّنَ australopithecines [القرود البَشَرانِيِّين الجنوبيّين] متطوّرةً لتحمُّلِ الهرولةِ المستمرة وليس السرعةَ الكبيرةَ الرهيبةَ، وهو تكيُّفٌ مناسبٌ على نحوٍ أفضل للبحث على مدى واسع في الأراضي المشجَّرة المكشوفة بدلًا من التحرك خلسةً في غاباتٍ، بشرط ألا يكون الأُستراليوبِثِكُسْ Australopithecus كان يسهُل اصطياده من جانب اللواحِم الكبيرةِ العدَّاءة. وقد تكون الأسبابُ مرتبطةً أيضًا بالدفاع الجماعي الخاص بالمجموعة، والذي يُمكّنُ حشودَ قرود البابون [أو الرُباح بالعربية] من التجوُّلِ بحريَّةٍ على الأرضِ، أو الاستيلاء المبكر على الأراضي واستعمال الأدوات الدفاعية. كان للأسترالوبِثِكُسْ ذراعين طويلين وأصابع طويلة قادرة على التحكم الحسّاس الدقيق في الحركة. ففي كائنٍ طويلٍ منتصب القامة ماشٍ على قدمين، ستكون الذراعان حُرَّتَيْنِ للحمل والرمي والتعامل والتناول الدقيق.

الأُسْترالوبِثِكِيُّون أو القرود البَشَرانِيَّة الجنوبية العفَاريَّة Australopithecus afarensis

أفضل المجموعات المعروفة على افضل نحوٍ للأُسْتْرالوبِثِكِيِّين المُبكّرين هي من لَيَتُوْلِي Laetoli وهدر Hadar في أثيوبيا (الصورة ٢٠– ١ للخريطة). فكلا المنطقتين أثمرت التنقيبات فيهما عن اكتشافات مدهشة. ففي لَيَتُوْلِي هناك آثار الأقدام، بالإضافة إلى بقايا ٢٢ فردًا على الأقل؛ وفي هدر عُثِر على شظايا من ٣٥ فردًا على الأقل محفوظةً كمتحجراتٍ على نحو افضل للغاية. كل تلك العينات تنتمي إلى نوع واحد، وهو Australopithecus afarensis [القرد البَشَرانِيّ الجنوبيّ العَفَارِيّ]، والذي كان قريبًا تطوريًّا وثيقًا لـ Australopithecus anamensis [المنسوب إلى بحيرة، والأكثر بدائيةً في صفاته]، وكان على الأرجح سلفًا لكل الأنواع اللاحقة من الأُسْتْرَالوبِثِكُس Australopithecus وللبشرِيِّينَ Homo كذلك (المخطط التطوري ٢٠– ٥).



رسم لمخطط تطوري ٢٠– ٥ مخطط تطوري مبسَّط للأُسْتْرَالُوبَثِكِيَّاتِ. لقد جَمَعْتُ الأنواعَ المتشابهةَ مع بعضِها في فروعٍ تطوريةٍ. كمثالٍ، النوعانِ البدائيان المبكران anamensis [البحيري الكيني] و afarensis [العَفاريُّ]؛ والأُسْتْرالوبِثِكِيُّون "الغليظون أو الأقوياء" مع بعضهم (والذي ربما ينتمون إلى نوع واحد فقط، والذي سيكون في هذه الحالة له الاسم robustus [القويُّ أو الغليظُ]؛ والأُسْتْرالوبِثِكِيُّون "الرشيقون" africanus [الجنوب أفريقيّ] و garhi [يعني اسمه المدهش باللغة الأمهرية الإثيوبية، ويحتمَل أنْ يكون أقدم صانع أدوات بدائية جدًّا]. أما Ardipithecus [يعني اسمه الأصل أو الأرضي] فأكثرُ بدائيةً من أيٍّ منهم. لاحِظْ أنه لو كان المخطَّطُ التطوريُّ صحيحًا، فإن الأُسْتْرالُوبِثِكِيَّاتِ ليست فرعًا تطوريًّا إلا إذا تتضمَّنَتْ البشريِّين Homo [البشر وأسلافهم وأقارب أسلافهم] فيها. هذه "المشكلة" ليست مشكلةً حقيقيَّةً، لأنَّ الغرض من المخطَّطات التطويَّة تصوير التطوَّرَ، فمخططات التسمية (كهذا) ملائمة كافية بوضوحٍ للغرض.

تقع هَدَرْ Hadar في مُنْخَفَضِ[1] عَفَارْ Afar، وهو اليومَ بريَّةٌ جدباءُ واسعة في شماليِّ إثيوبيا (الخريطة في الرسم ٢٠– ١). ومنذ ٣ إلى ٤ ملايين سنة ماضية كان موقعًا لبحيرةٍ تَمُدُّها أنهارٌ كان مصدرُ تدفُّقِها حقولًا ثلجيَّةً شتويَّةً على نَجْدِ[2] إثيوبيا. عاشَتْ الأُسترالوبَثَكِيَّاتُ ووُجِدَتْ متحجراتُها على طول

[1] المنخفَض: مكان واطئ على سطح الأرض تحيط به عادةً من جميع نواحيه أرضٌ أعلى منه.
[2] النَّجْدُ: سهلٌ واسّع مرتفِعُ.

حوافِّ البحيرة. تدل المتحجراتُ المحفوظةُ بدقَّةٍ مثلَ مخالب سرطان [سلطعون، كابوريا] وبيض سلاحف وتماسيح أن الأُسْتْرالوبِثِكِيِّينَ كان لديهم أغذية غنيّة بالبروتين متاحة لهم، وتدل الهياكل العظمية لأفراس النهر [البَرانيق] والأفيال على أنه كانت هناك خُضْرَةٌ ثريَّة وفيرة في البحيرة وحوال حوافِّها. تؤرَّخُ كلُّ عَيِّناتِ هَدَرْ Hadar بتاريخ حوالي ٢, ٣ مليون سنة ماضية، بالتالي فهي لاحقة زمنيًّا بدرجة كبيرة عن عينات أُستراالُبِثِكِيِّ لَيْتُوُلِي Laetoli [فرق ٤٠٠ سنة بينهم].

أفضل متحجرات الهياكل العظمية حفظًا المعثور عليها في هَدَرْ Hadar في إثيوبيا هي المتحجرة الشهيرة المسمَّاة باسم "لوسي" Lucy. كانت لوسي صغيرة الحجم وفقًا لمعاييرنا، أطول بقليل من متر واحد (٤٢ بوصة). لقد كانت مكتملةَ النموّ، كبيرةَ السنّ بدرجة كافية لأنْ يكونَ لديها التهابُ المفاصلِ. كان مخها صغير الحجم حوالي ٣٨٥ سنتيمترًا مكعَّبًا، مقارنةً بحجم ١٣٠٠ سنتيمترًا مكعَّبًا بالنسبة للإنسان في المتوسط. تدل ضروسها الكبيرة على أنَّ Australopithecus afarensis [القرد البَشَرانِيّ الجنوبيّ العَفَارِيَّ] كان يبحث عن المواد النباتية الليفية القاسية ويجمعها ليأكلَها.

متحجرة لوسي، أنثى قرد بشراني جنوبي عَفَارِيّ Australopithecus afarensis، وإعادة بناء لها



Australopithecus afarensis

توحي بيانات الأدلة الجديدة من المتحجرات بأن نوع Australopithecus afarensis [القرد البشراني الجنوبي العَفَارِي] لم يكن ذا ثنائية شكل جنسي [تباين للشكل بين الذكر والأنثى] أكثر من البشر الحديثين؛ فكان الذكورُ أكبرَ حجمًا من الإناثِ، لكنْ ليس إلى الحد الذي يُرى في قرود البابون مثلًا. وعبر رتبة الرئيسيَّات يرتبط الحجم المتطرف للذكور بالتنافس الجسدي الشديد بين الذكور على الإناث؛ أما أحاديَّة التزاوج [مع أنثى واحدة] فيترافق مع مستويات منخفضة من ثنائية الشكل الجنسي. سيكون مثيرًا للاهتمام لو اتضح أنَّ كلَّ البَشَرانيِّينَ hominids (الأُسْتْرالوبِثِكِيَّاتِ australopithecines وجنس البَشَرِيِّين Homo [البشر وأسلافهم وأقارب أسلافهم] كان لديهم دائمًا هذا النوع من البنية الاجتماعية.

يمكث قرود البابون [الرُباح] في الأماكن العالية، على الأشجار أو الصخور العالية، وهم انتهازيُّون كبار في الحصول على أي غذاء متاح أيًا ما كان. إنهم يعيشون ويبحثون عن الطعام في حشود ولديهم بنية اجتماعية متماسكة متلاحمة تمنحهم حمايةً فعَّالةً من المُفتَرِسِينَ رغم كونهم صغار الأحجام إلى حدٍّ ما كأفرادٍ. لكنَّ الأُسْتْرَالوُبِثِكُسْ Australopithecus سارَ منتصبَ القامةِ، بينما يهرول قرود البابون على أطرافهم الأربعة. ربما كان الأُسْتْرَالوُبِثِكُسْ إيكولُجِيًّا (لكنْ ربما ليس اجتماعيًّا) أشبهَ ببابون متفوِّقٍ. فبكونه سارَ منتصبَ القامةِ، بذراعيه حرتين للحمل والتناول، فلعله كان باحثًا عن الطعام وجامعًا له أكثرَ كفاءةً من البابون، والذي لا يستطيع أن يحمل إلا ما يستطيع وضعَه في فمِه ومَعِدَتِهِ. ربما شجَّعَتْ متطلَّباتُ وأفضليَّاتُ البحث الجماعي عن الطعام ودفاع المجموعة على التماسك الاجتماعي المحكَم في الأُسْتْرالوبِثِكِيَّات، من زمن طويل قبل أن يسمحَ صنعُ الأدواتِ بالتقدم التقنيِّ.

[ملاحظة من المترجم: في اكتشاف مذهل مفاجئ في أعمال تنقيب في أثيوبيا في منطقة Dikika على يد Dr. Zeresenay "Zeray" Alemseged عالم المتحجرات من أكاديمية كاليفورنيا للعلوم the California Academy of Sciences وزملاؤه من المشروع البحثي Dikika Research Project منشور في مجلة Naure عدد أغسطس ٢٠١٠م، اتضح أن Australopithecus afarensis [القرد لجنوبي البشراني العفاري] هو أول من استعمل أدوات الجزارة، حيث عثر على عظام حيوانات متحجرة من نفس طبقة عمر القرد العفاري عليها آثار أدوات استُعمِلَت لنزع اللحم عن العظام، كان أحد هذه الآثار للحيوانات هي ضلع ذي حوافر بحجم الثور والآخر جَدْل عظمِ فخذٍ لحيوان بحجم ظبي أو غزال. حُدِّد عمر العظام بدقة لوجودها بين طبقتي رواسب بركانية باستعمال النظائر المشعة، يثبت تحليل العظام أن العلامات صُنِعت قبل تحجر العظام، مما يقضي على احتمالية أنها مصنوعة ملفقة حديثًا. وقد اتضح أن استعمال الأدوات البدائي غير مرتبط بكبر حجم المخ، وقد اتضح للعلماء منذ فترة أن الشيمبانزيات والقضاعة البحرية [معروف بكلب البحر] والغربان وبعض الطيور وحتى الأخطبوط يستعملون أدوات لصيد الفرائس وإخراجها. عظام الحيوانات المتحجرة بعمر ٣,٤ مليون سنة وهذا الاكتشاف سيغيِّر كثيرًا من محتويات كتب مناهج ودراسات علم تاريخ تطور الإنسان، فقد اتضح أنه ليس البشريون فقط من استعملوا الأدوات، بل سبقهم القرود البشرانيون كذلك كأسلاف وأقارب أسلاف لهم، وهو ما قد يجعل العلماء يراجعون تعريفهم لجنس البشريين نفسه. ما هو غير واضح هل صنع العفاري الأدوات أم التقط أحجارًا مناسبة الشكل للغرض من الأرض فقط؟!]





عظمة ضلع حيوان عليها علامتان متوازيتان لقطع، وعظام عليها آثار اكتُشِفَت في Dikika وهي من عمر زمن القرد البشراني الجنوبي العفاري

القرود البشرانيُّون الجنوبيُّون Australopithecus في جمهورية جنوب أفريقيا

يقام بأعمال التنجيم في كهوف معزولة متناثرة على السهول المرتفعة في جمهورية جنوب أفريقيا لاستخراج الحجر الجيري، وكان ولا يزال يُعثَرُ على متحجراتٍ لبَشَرانيّينَ hominids بداخل الحجر الجيري (الصورة ٢٠- ٦ لأحدها). لكنَّ لقايا ورواسب الكهوف يصعب تحليلها وتأريخها بدقة. لأن سقوط الأسقف والتعدُّن بفعل الماء الراشح المتخلِّلِ يشوِّش الرواسب الأصليَّة، ولا يُمكِّنُ إلا القليلُ من المعادن النشطة إشعاعيًّا في رواسب الكهوف من التأريخ الدقيق [المطلَق، النظائري]. لذلك توجد مشاكلُ في ربط متحجرات بَشَرانيِّي hominids جمهورية جنوب أفريقيا بنُظَرائهم الشرقيِّ أفريقيين المؤرَّخينَ على نحوٍ جيِّدٍ.



الصورة ٢٠- ٦ جمجة لـ Australopithecus africanus [قرد بشراني جنوبي أفريقي] من لقايا الكهوف في Sterkfontein سْتِرْكِفونتين في جمهورية جنوب أفريقيا (مصورة من عدة زوايا). اكتُشِفَت هذه العينة من خلال التفجير المتأتِّي بالديناميت للحجارة الجيرية في الكهف، والتي هي صلبة جدًّا. عندما انقشع الدخان بعد أحد التفجيرات، وُجِدَتْ متحجرة الجمجمة مشطورةٍ إلى نصفين تقريبًا بفعل الانفجار، ظاهرًا منها تجويف المخ فارغًا ومحدَّدًا بحبات البلَّورات الجيرية. أعيد توحيد الجمجمة باللصق على طول خط الكسر. المتحجرة محفوظة في متحف Transvaal Museum Pretoria، وهي جمجمة ذكر شابّ.



إعادة بناء لـ Australopithecus africanus



الجمجمة المتحجرة المعروفة بطفل تونج Taung [منسوب لمنطقة في جمهورية جنوب أفريقيا]، وهي لطفل من النوع Australopithecus africanus كان عمره ٣ أو ٤ سنوات وقت وفاته وتحجره، وهي محفوظة في مخزن جامعة University of Witwatersrand. وهنا صورة لريموند دارت مكتشفها في شبابه، التُقِطَت بالألوان لاحقًا حينما صار شيخًا كبير السن.

سوف تُغيّرُ البحوثُ الجديدةُ ذلك قريبًا. وقد عُثِر على اكتشافٍ جديد في منجم Sterkfontein سْتِركْفونْتين في عام ١٩٩٨ وادُعِيَ أنه بعمر حوالي ٤ ملايين سنة. هذا ليس مُفْرِطًا، لكنه مبكِّرٌ جدًّا، وسوف يُفحَصُ هذا الادعاءُ بلا شكٍّ مستقبلًا بعنايةٍ جدًّا.

حتى التاريخ الحالي، فإن أفضل الأُسترالوبِثِكِيَّات المبكّرة من جمهورية جنوب أفريقيا معرفةً بها لدينا هو Australopithecus africanus أُسْتْرالُوبِثِكُسْ أفريكانُسْ [القرد البشراني الجنوبي أفريقي] (الصورة ٢٠– ٦). ورغم أنه كان بنفس وزن جسد Australopithecus afarensis [القرد البشراني الجنوبي العَفَارِيّ]، فإن A. Africanus [القرد البشراني الجنوبي أفريقي] كان أطول منه وأخف بنية وكان له مخ أكبر، حوالي ٤٥٠ سنتيمترًا مكعبًا. كانت أسنانه وفكاه لا تزال كبيرة وقويَّة، وكانت الضروس ضعف حجم ضروس الشيمبانزيِ، مما يوحي بأن نظامه الغذائي ظلّ نباتيًّا على نحوٍ رئيسيٍّ. رغم ذلك، فإن أدلة جديدة من النظائر المشعَّة تقترح أنَّ A. Africanus أكَلَ الحيواناتِ النباتيَّةَ كذلكَ، ربما كان يصطاد الحيواناتِ الصغيرةَ، أو يتقمَّم على اللحم من

الجثث. يقترح بلى الأسنان [تآكلها] فترة عمر بمتوسط حوالي ٢٠ عامًا لـ A. Africanus [القرد البشراني الجنوبي أفريقي]، وربما حد أقصى للعمر أربعون سنةً، وهو حوالي نفس الحد الأقصى الخاص بالجورِلات [الغوريلّات] والشيمبانزي. وكان ذراعاه أطولَ مقارنـةً بالخاصـين بـ A. Afarensis [القـرد البشراني الجنوبي العَفَارِيّ]، مما يوحي بأن A. Africanus أُسْتْرالوبِثِكُسْ أَفْريكانُسْ _رغم أنه كان منتصب القامة تمامًا وقادرًا على المشي والركض على الأرض_ قد قضى وقتًا كبيرًا على الأشجار.

القرود البشرانيّون الجنوبيُّون الأقويّاء أو الغلاظ Robust Australopithecines

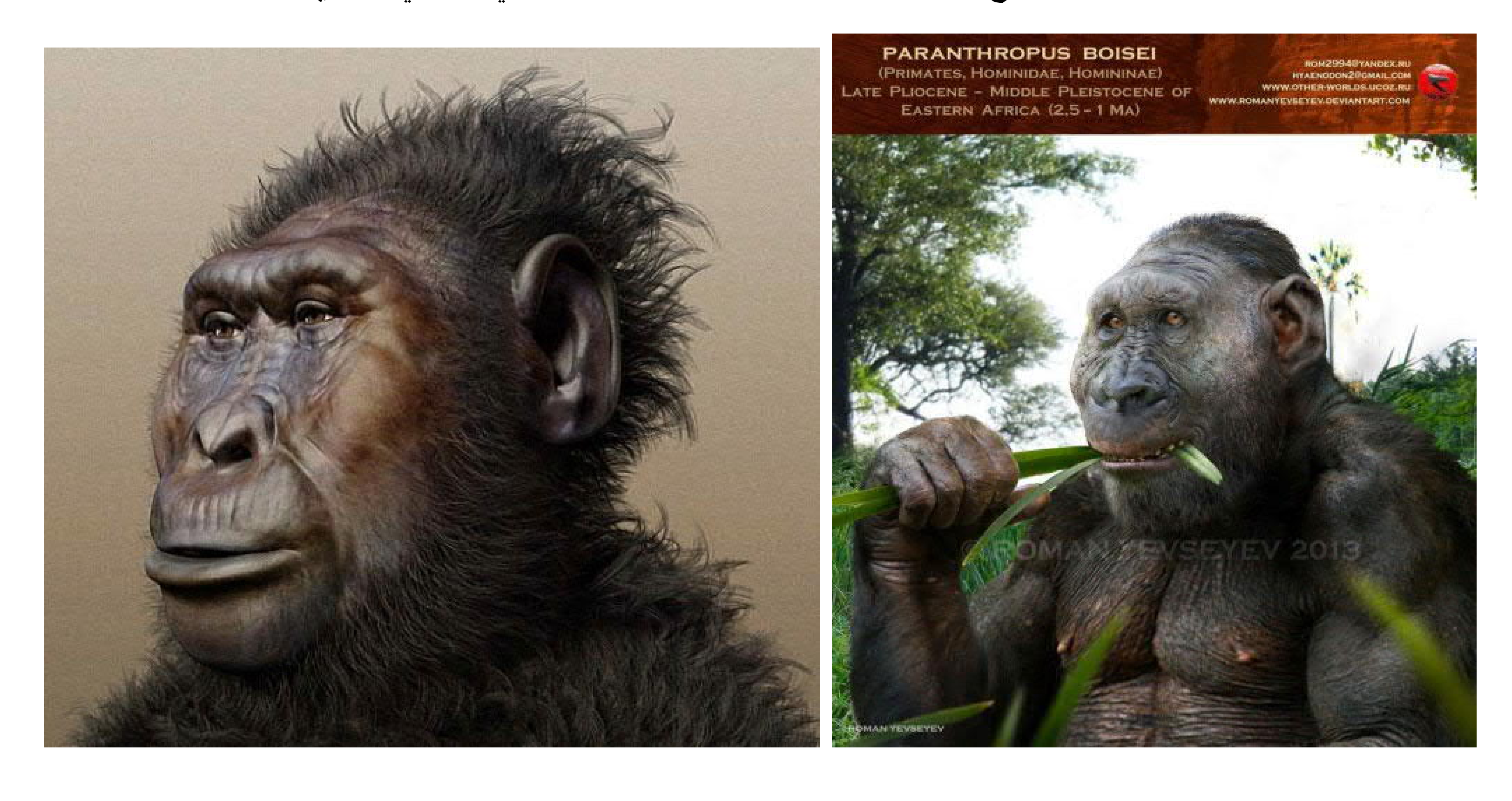
يُدْعَى الأُستراﻟﻮﺑِﺜِﻜﻴُّون ذوو الهياكل العظمية الثقيلة البنية بالغلاظ أو الأقوياء [بالإنجليزية robust] لتمييزهم عن ذوي الهياكل العظمية الخفيفة البنية (مثل A. Africanus القرد البشراني الجنوبي أفريقي) والذين يُدْعَوْنَ بالرشيقين. أفضل مثال لمتحجرة جمجمة غليظة هي أقدمها، المعروفة باسم الجمجمة السوداء (الصورة ٢٠– ٧) من حوض بحيرة توركانا في شماليّ كينيا (راجع الخريطة في الصورة ٢٠– ١) وتؤرَّخ بحوالي ٢,٥ مليون عام ماضٍ. في العادة يُعرَف نوع الجمجمة السوداء بالقرد البشراني الجنوبي الإثيوبي Australopithecus aethiopicus. لقد كان له جمجمةٌ أثقلُ وأقوى بكثيرٍ من الخاصة بـ A. afarensis. رغم أن مخه لم يكن أكبرَ حجمًا ولم يكن جسده مختلفًا جدًّا. كان فكه يمتد إلى الأمام أكثر، وكان وجهه عريضًا ومستديرًا كالطبق، وكان هناك له عُرْفٌ عظميٌّ كبيرٌ فوق قمة جمجمته لربطِ عضلاتٍ فكيَّةٍ قويَّةٍ جدًّا (الصورة ٢٠– ٧). كانت ضروس الجمجمة السوداء بنفس حجم أي ضروس نوعٍ بشرانيٍّ hominid معروف، أيْ: حوالي أربع أو خمس أضعاف حجم الخاصة بنا. إلا أن الأسنان القوادم [الأمامية] الخاصة بالأُسْتْرالوبِثِكِيَّات الغلاظ كانت صغيرةً.

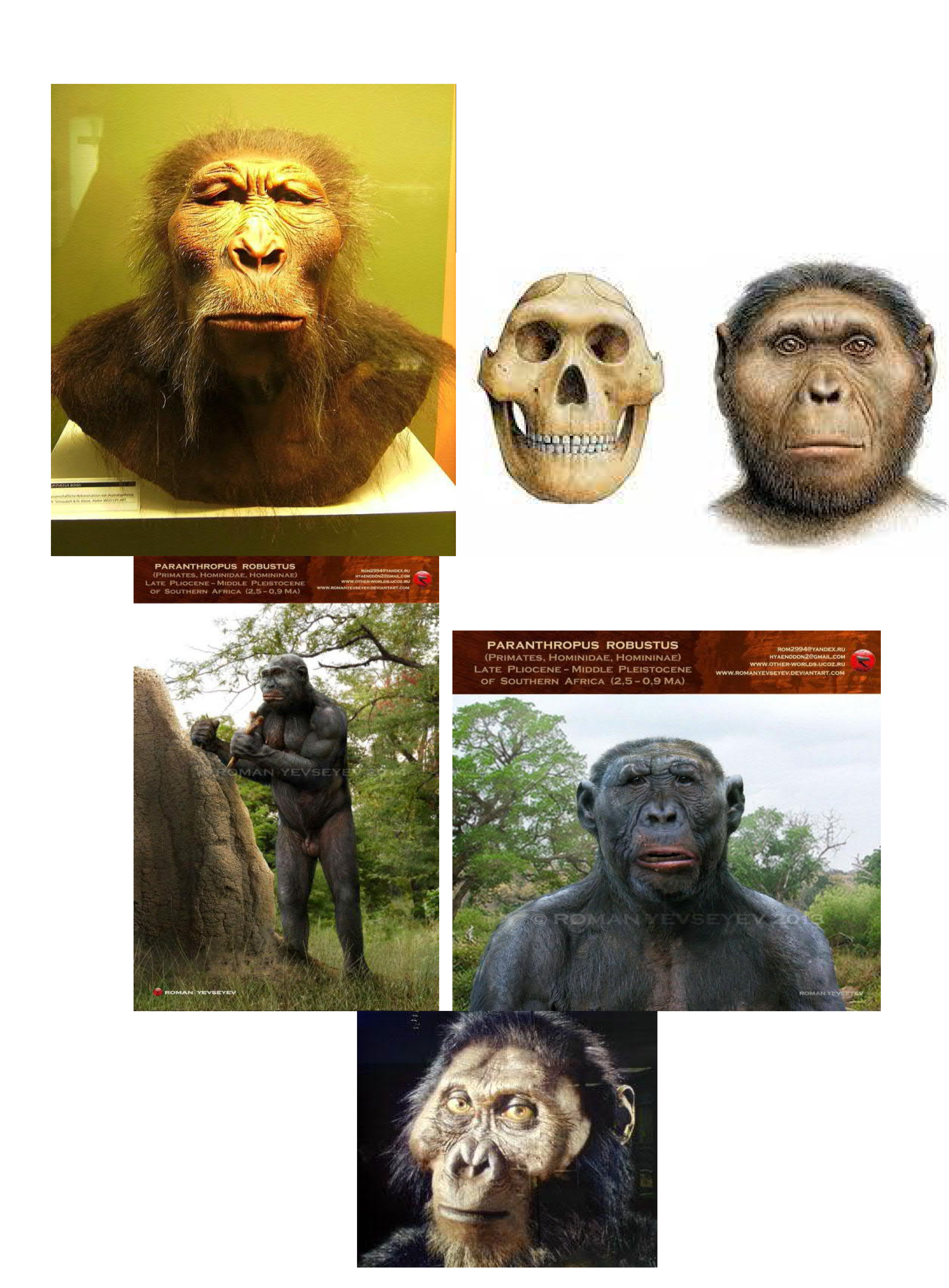


الصورة ٢٠– ٧ عثر Alan Walker آلان ووكر على هذه المتحجرة لجمجمة لقرد بشراني جنوبي australopithecine قوي غليظ في شماليِّ كينيا. وقد دُعِيَت في البدءِ باسم "الجمجمة السوداء"، وهي حاليًا تُدْعَى في العادة Australopithecus aethiopicus أُسْتْرالوبِثِكُسْ أفريكانُسْ أو القرد البشراني الجنوبيَّ أفريقيَّ. هذه صور المتحجرة من عدة زوايا، وإعادات بناء لوجه النوع.

عُثِر على أشكالٍ [أيْ: أنواعٍ] غليظة لاحقة زمنيًّا في كل نواحي جمهورتي شرق أفريقيا وجمهورية جنوب أفريقيا تعود إلى ما بين ٢,٥ و ١,٤ مليون سنة ماضية. في شرق افريقيا يُدْعَوَن باسم النوع Australopithecus boisei [القرد البشراني الجنوبي البويزيَّ، منسوب إلى المتبرع لحملة تنقيب علماء الأجناس البشرية Charles Watson Boise تكريمًا له، ويسمَّى أيضًا Paranthropus boise، أيْ: الشبيه بالإنسان] (متحجرة الزانجي أو زِنْج Zinj الشهيرة المنسوبة لمنطقة زانج Zanj في شرق أفريقيا التي اكتشفها Louis Leakey)، وفي جمهورية جنوب أفريقيا يُدْعَوْنَ باسم Australopithecus robustus [القرد البَشَرَانِيِّ الجنوبيِّ القويِّ] (راجع الصورة ٢٠- ٣ أ لإحدى متحجراته). هناك متحجرات كافية متوفرة لتدل على أن الأُسْتْرالوبِثِكِيَّاتِ australopithecines الغلاظ الأقوياء تغيَّروا خلال المليون سنة التي تمثِّل تاريخَهم، متطوِّرًا فيهم مخٌّ أكبرُ (حوالي ٥٠٠ سم مكعَّب بدلًا من ٤٠٠ سم مكعَّب) ووجهٌ أكثر تسطحًا.

بعض متحجرات النوع Australopithecus boisei [القرد البشراني الجنوبي البويزيَّ]





إن الأُسْتْرالوبِثِكِيَّاتِ australopithecines [القرود البشرانية الجنوبية] الغلاظ مرتبطون ببعضهم البعض إيكولُجِيًّا يقينًا. كان وزنُ الفك الكبير والضروس الضخمة _بمينا أسنانها السميكة جدًّا_ تكيُّفاتٍ تدل على قوة مضغ كبيرة ونظام غذائي من ألياف خشنة. ومع ذلك، فإن كل السمات التي تُستعمَلُ لتعريف القرود البشرانية الجنوبية الغليظة أو القويّة متصلة بالأسنان الضخمة وتعديلات الفكين والوجه في أثناء النمو والتي كانت مُتَطَلَّبةً للتلاؤم مع الأسنان. بالتالي فإن أي مجموعة سكانية من القرود البشرانية الجنوبية australopithecine تطوَّرت فيها الأسنان الضخمة كانت ستصير تبدو "غليظة" أو "قويَّة".

بالتالي فإن القرود البشرانيّين الجنوبيّين الغلاظ ربما لم يكونوا مجموعةً تطوريَّةً. فربما كانوا ثلاثة أنواع تطور كلٌّ منها على نحوٍ مستقلٍّ؛ أو ربما كانوا ثلاثة أنواع مرتبطة أقارب تطوريًّا؛ أو ربما كانوا تنوعاتٍ من نفس النوعِ (والذي سوف يُدْعَى في تلك الحال باسم الغليظ أو القوي robustus). يفضِّلُ بعضُ المتخصِّصين إعطاء القرود البشرانيين الجنوبيين الغلاظ اسمَ جنسٍ خاصٍّ بهم، وهو Paranthropus [يعني الشبيه بالبشر، القرود الشبيهين بالبشر]، لكني لم استعمل هذا الاسم (الشكل ٢٠– ٥). يُحتمَل جدًّا أن القرود البشرانيي الغلاظ قد تطوَّروا من A. afarensis.

Australopithecus garhi [القرد البشراني الجنوبي الملقَّب بالمدهش، وهو معنى الكلمة المحلية العَفاريَّة]، وأدوات الجزارة

أُعْلِنَ عن اكتشافٍ مذهلٍ في عام ١٩٩٩م في إثيوبيا يعود تاريخه إلى ٢,٥ مليون سنة ماضية والذي أسفر عن أجزاء كافية من متحجرات هيكلين عظميين أو ثلاثة [قحف جمجمة وأربع شظايا أخرى لجماجم، و كذلك جزء من هيكل عظمي من نفس عمر الطبقة تقريبًا] للتمكين من وصف نوعٍ جديدٍ، وهو Australopithecus garhi. ومنذ ذلك الوقت، عُثِرَ في طُبَيْقاتٍ من نفس الزمن على أدلة على استعمال أدوات حجرية لجزارة اللحم وعظام محطَّمة.

كان Australopithecus garhi قردًا بشرانيًّا جنوبيًّا australopithecine رشيقًا، ما عدا امتلاكه أسنانًا كبيرة جدًّا بالنسبة لحجم فكيه وجمجمته [شبيهة بالخاصة بالأنواع الغليظة]. إن جمجمته بدائية للغاية عن أن تكون تنتمي لجنس البشريين Homo، وكان مخه ذا حجم حوالي ٤٥٠ سنتيمترًا مكعَّبًا فقط. لكن بالنظر إلى عمر عصره وموقعه وسمات هيكله العظمي [مثلًا، كانت عظمة فخذه أطول من أي نوع آخر من عينات القرود البشرانية الجنوبية، هذا يوحي بالتغير باتجاه خطوات أطول في أثناء المشي على قدمين، وقد احتفظ بذراعين قويين]، فإن A. garhi يمكن على الأرجح أنْ يكونَ سلفًا جيد الاحتمال لجنس البشريين Homo [البشر وأسلافهم وأقارب أسلافهم].

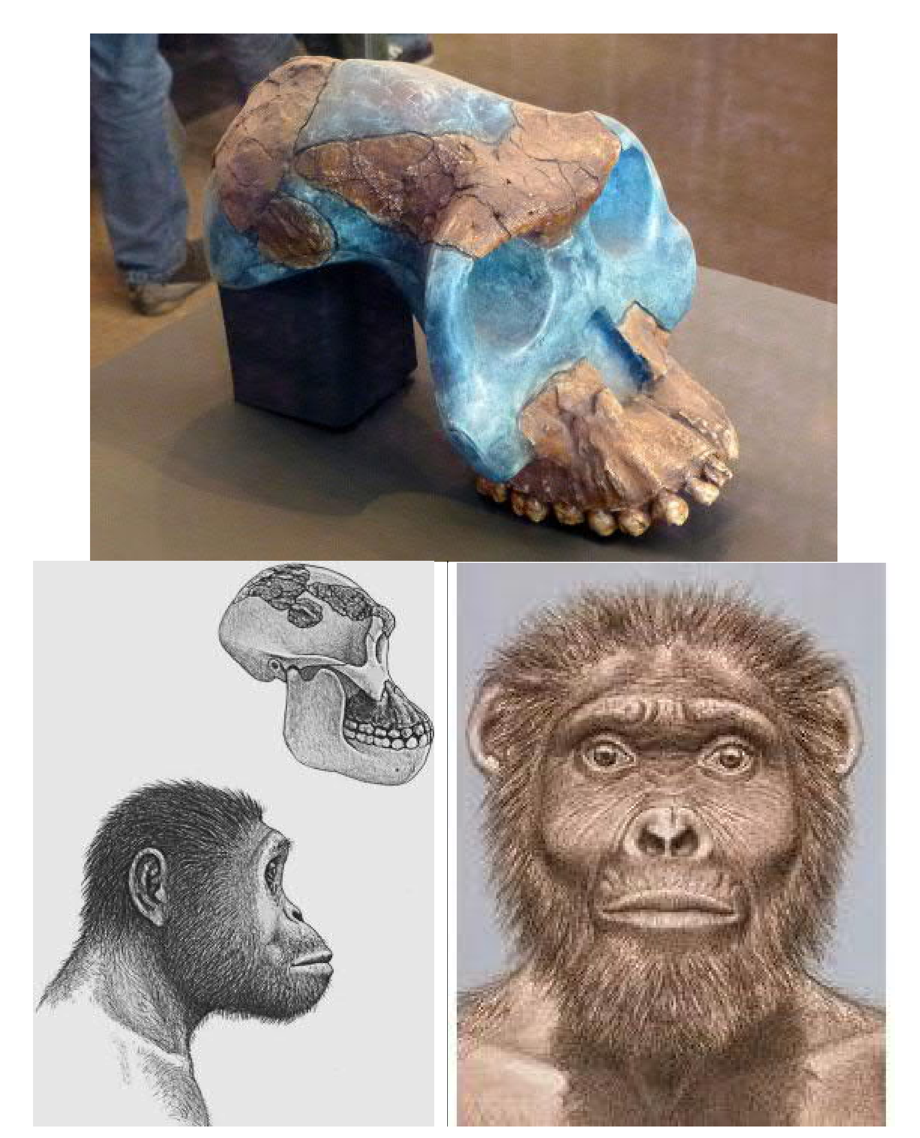
بعض عظام الحيوانات من نفس الصخور كانت مقطَّعةً ومطروقة بطريقةٍ تكشف عن جزارةٍ واعيةٍ. على الأرجح جدًّا، أن الجزَّارين استعملوا أدواتهم بعنايةٍ، إذْ لم تكن هناك صخور مناسبة في الجِوار، وكان يَلْزَمُ الاحتفاظ بكل الأدوات في داخل المآوي وحملها إلى الخارج للاستعمالات الإضافية.

قبل عام ١٩٩٩م، كان يُعتقَد على العموم أن تحديد سمات جنس البشريين Homo في مقابل جنس أُسْتْرَالوُبِثِكُسْ Australopithecus [القرود البَشَرَانِيَّة الجنوبيَّة] يتضمَّنُ مخًّا أكبرَ حجمً واستعمالَ الأدواتِ. تدل الأدلة الجديدة على أن Australopithecus garhi كان يصنع ويحمِل ويستعمل الأدوات بكفاءةٍ وفاعليةٍ. ربما شَجَّعَتْ الأفضلياتُ الإيكولُجِيَّةُ الكبيرةُ المكتسَبة باختراعِ أدواتِ الجزارةِ تلكَ التغيراتِ بالضبط في خط النسل التطوري الخاص بـ Australopithecus garhi والذي سرعان ما أدى إلى ازدياد حجم المخ، وإنقاص حجم الأسنان، وحالةِ أولِ بشريٍّ Homo[1].



بعض الأدوات المعروفة بالأُلْدُوانيَّة أو الأُلدوڤاوية Oldowan [منسوبة إلى مكان أول اكتشاف لها] والتي يُنسَب صنعُها إلى Australopithecus garhi.

[1] ومن الأنواع المكتشفة حديثًا Australopithecus sediba أو بشريو نبع الماء، الذين وجدوا كذكر وأنثى وطفل مدفونين متحجرين في كهف يعتقد أنهم سقطوا فيه أثناء محاولتهم الحصول على ماء من نبع قديم، وتتراوح أحجام أقحاف جماجمهم بما بين ٤٢٠ إلى إلى ٤٥٠ سم مكعبًّا، فهو يقع عند أعلى حد أقصى للقرد البشراني الجنوبي أفريقي A. africanus وأبعد عن الحد الأدنى للبشريين المبكرين الذين كان لهم قحف بحجم ٦٣١ سم مكعًبا تقريبًا. وكان فكه السفلي وأسنانه خفيفة ولو لم يكن عثر على عظام أخرى له مرافقة لظنه العلماء من جنس H. erectus. وفق أدق تقدير بالوسائل العلمية لعصره فهو يعود إلى ١,٩٧٧ مليون عام ماضٍ، ويدعي بعض العلماء أنه من أسلاف البشر وأنه أقرب لهم من Australopithecus garhi، وهو افتراض يرفضه علماء متحجرات آخرون لأن أقدم متحجرة لبشري يُدَّعى علميًّا أنه سلف أو قريب لسلف البشر وهي فك سفلي اكتشفه Friedemann Schrenk وينسب إلى H. rudolfensis عمرها ٢,٥ مليون عام ماضٍ أقدم من النوع المكتشف الجديد-المترجم.



Australopithecus garhi

مُجدَّدًا، تختفي النقلات الكبيرة ظاهريًّا كلما جمعنا متحجراتٍ أكثرَ؛ وقد رأينا هذا في الانتقال من الأسماك إلى البرمائيات، ومن الديناصورات إلى الطيور، ومن الزواحف الثيرابسيدِيَّة ذوات الأسنان الشبيهة بالخاصة بالكلاب cynodonts إلى الثدييات، والآنَ بين الأُسْتْرالوبِثِكِيَّات [القرود البشرانية الجنوبية] وجنس البشريين Homo.

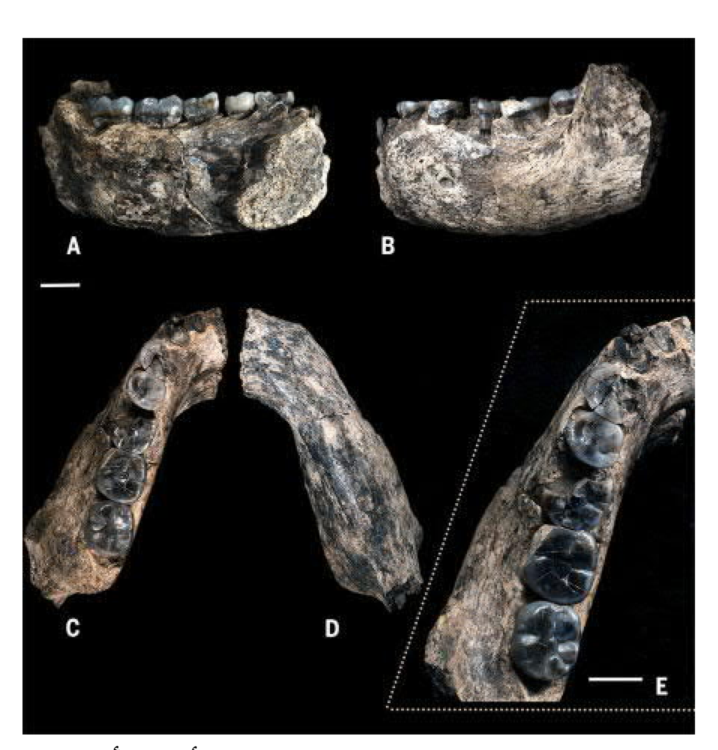
تمييز ظهور جنس البشريين Homo من عدمه

منذ حوالي ٤, ٢ مليون سنة، ظهر بَشَرَانِيُّون hominids ذوو أحجامِ مخٍّ مُزْدادة وأسنان وفكوك منقوصة الحجم في أفريقيا. لقد كانوا مشابهين لنا على نحو كافٍ في فكوكهم وأسنانهم وجماجمهم وأمخاخهم لكي يُصَنَّفوا كبشريّين Homo. لكن لأن الأجناس يتطور أحدها من الآخر دائمًا، فهناك دائمًا مجال للجدال حول موضع وضع الخطوط الفاصلة بينها، وهذا يحدث عندما نحاول تحديد أي الأنواع كان في الحقيقة أولَ البشريين Homo. على نحو متزايد، فإننا ندرك أن هناك اختلافًا كبيرًا بين الأشكال الانتقالية المبكرة، وبين الأنواع اللاحقة التي يتفق الجميع من العلماء على أنها تنتمي لجنس البشريين Homo. سوف أستمر في دعوة الأشكال الانتقالية بالبشريين Homo إلى أنْ يصيرَ هناك إجماعٌ أكثرُ حولَ المسألةِ.[1]

[1] لم يتحدث المؤلف هنا عن بعض أبناء عمومة أسلاف البشر المكتشفين مؤخرًا، مثل Homo naledi البشري النالدي أو بشريي كهوف النجم الصاعد المكتشفين في إثيوبيا، والذين يُقدَّر زمن متحجراتهم بما بين ٣٣٥ إلى ٢٣٦ ألف سنة ماضية. السمات الجسدية للهوم ناليدي مشابهة للخاصة بالأسترالوبثكس ممزوجة بصفات مميزة أكثر لجنس البشر Homo وسمات أخرى مشتقة متطورة لا تعرف في أي نوع بشري أو بشراني آخريظهر الهيكل العظمي سمات ٍ سلفية توجد في الأسترالوبِثِكيات وسمات أكثر اشتقاقية تُعرف في الأنواع البشرية hominins اللاحقة. يقدر طول الذكر البالغ الواقف منه مترا ونصف ويزن ٤٥ كجم تقريبا، بينما الإناث أقصر وأقل وزنا قليلا على الأرجح. تقترح دراسة لهيكله العظمي أنه كان يقف منتصبا ويمشي على قدمين. كانت آليات حركة فخذه والشكل المتسع بجهة الخارج لحوضه مشابهة للأسترالوبثكيات، بينما كانت ساقاه وقدماه أكثر شبها بجنس البشريين Homo. تبدو أيدي الهومو ناليدي أفضل ملاءمة لتناول الأشياء من الخاصة بالأسترالوبثكيات. بعض العظام تشبه عظام البشر الحديثين بينما أخرى أكثر بدائية أكثر حتى من الأسترالوبثكيات أسلاف البشر. كانت عظام الإبهام والرسغ (المعصم) واليد شبيهة بالبشرية الحديثة بينما كانت الأصابع محنية وأسترالوبثكية أكثر ومفيدة للتسلق. كان الكتفان متشكلين إلى حد كبير مثل الخاصين بالأسترالوبثكيات. كانت الفقرات أشبه بالخاصة بأنواع البشريين في عصر البليستوسين، بينما كان القفص الصدري متسعًا من الناحية القاصية مثل الخاص بأسترالوبثكس أفارنسس A. afarensis القرد الجنوبي البشراني العفاري. كان ذراعه له كتف واصابع مشابه للأسترالوبثكس ورسغ ويد مشابهة للبشرية. تبدو بنية الجزء العلوي من الجسد أكثر بداية من أنواع جنس البشريين Homo الأخرى، أكثر شبهًا بالقرود العليا. في علم الأحياء التطورية، مثل هذا المزيج من الصفات يعرَف بالفسيفسائية التطورية. تراوحت أحجام القحف للذكور ما بين ٥٦٠ إلى ٦١٠ سم مكعب، وهو ٤٠ إلى ٤٥% من حجم جماجم البشر الحديثين، ولقد كان حجم جمجمة النوع Homo erectus للمقارنة ٩٠٠ سم مكعب. كانت جمجمة هومو ناليدي أقرب إلى حجم جماجم الأسترالوبثكيات، ومع ذلك فقد وُصِفَتْ بنية القحف بأنها أشبه بالتي توجد في جنس البشريين أكثر مما هي إلى الأسترالوبثكيات، وعلى وجه الخصوص، في سماته النحيلة وفي وجود البروز الصدغي والقذالي، وحقيقة أن الجمجمة ليست ضيقة فيما وراء محجري العينين. كان مخهم أصغر على نحو ملحوظة من البشر الحديثين العاقلين. كانت أسنانهم وعضلات فكهم السفلي أصغر بكثير من الخاصة بالأسترالوبثكيات مما يوحي بنظام غذائي لا يتطلب مضغًا ثقيلًا. كانت أسنانهم صغيرة شبيهة بالخاصة بالبشر الحديثين، لكن كان الضرس الثالث أكبر من باقي الضروس، على نحو مشابه للأسترالوبثكيات. كان للأسنان سمات تنمي سني بدائية ومشتقة متطورة. البنية التشريحية العامة لهذا النوع حثت العلماء المحققين على تصنيفه ضمن جنس البشريين بدلا من جنس الأسترالوبثكيات. يعتقد العلماء أن هذه الجثث وضعت في أنظمة الكهف بشكل متعمد لسنين طوال مما أوحى باحتمالية ممارسة هذا النوع الواعية لطقوس للدفن والتي لم تُوَثَّقمن قبل لأي من الأنواع المبكرة من جنس الهومو، ولو صح هذا فهو أبكر شكل للدين والطقوس بالمعنى الواسع . عدد متحجراته المكتشفة في الكهف حوالي ١٥٥٠ قطعة. لم يكتشَف من قبل بشري صغير الدماغ من عصر حديث كهذا في أفريقيا من قبل، ولا يعرف سوى الهو فلونسيس في إندونيسيا بدماغ أصغر منه ومن فترة حديثة أيضًا. لقد صنف الهومو ناليدي كفرع قاعدي ضمن تفرع جنس البشريين يعني تفرع من عند قاعدة المنبت التطوري لجنس البشريين.

الأنواع الانتقالية التي قد تظل أو لا تظل ضمن جنس البشريين Homo

إن أقدم عينة متحجرة ادُعِيَ أنها لبشريٍّ Homo، والتي بعمر ٢,٣٣ مليون سن ماضية على الأقل [حسب تقديرات أخرى ٢ ,٨ مليون سنة، من منطقة Ledi-Geraru في عَفار في إثيوبيا]، تتألف من فك علوي فقط، لذلك لم تُعطَ اسمَ نوعٍ. إن أشهر الأنواع الانتقالية هو Homo habilis [يعني اسمه البشريُّ الصانعُ الأدواتِ أو الماهر في الأعمال اليدوية، وقد ثبت الآن أن بعض القرود البشرانيين سبقوه في صفة صنع الأدوات وتشاركوها معه] (الصورة ٢٠– ٨). وَيُعرَفُ Homo rudolfensis [البشري الرودُلْفي، منسوب إلى بحيرة رودُلْف Rudolf، حيث اكتُشفَت أول متحجراته بجوراها] من شرق أفريقيا بعمر حوالي ٢ مليون سنة ماضية، وقد أُعْطِيَ اسمًا مستقلًا لنوعه. يبدو أن اكتشافًا جديدًا في Olduvai Gorge (راجع الخريطة ٢٠– ١) يقترح أن habilis و rudolfensis هما نفس النوعِ. هذه القصة من المؤكَّد أنها ستتغير كلما اكتشفنا متحجراتٍ أكثرَ. في غضون ذلك، سوف أدعوهما بالبشريين المبكرين أو Homo habilis [البشري الصانع الأدوات].



أقدم عينة متحجرة ادُعِيَ أنها لبشريٍّ Homo، بعمر ٢,٣٣ مليون سن ماضية على الأقل، تتألف من فك علوي فقط، متحجرة رقم LD 350-1







Homo Georgicus_Dmanisi 3 جمجمة
متحجرتان للجمجمة والفك D2700 and D2735
عثر عليها في دمانيسي بالقوقاز بجورجيا
Dmanisi in the Georgian Caucasu

Homo habilis_KNMER 1813

Homo habilis

12 inches
40 cm

© 2005 Encyclopædia Britannica, Inc.

Sagittal keeling
جؤجؤ سهمي
Flat braincase sides
جوانب مسطحة للقحف
Supraorbital torus
حيود فوق حجاجية
Modern dentition and zygomatic process
نمط تسنين حديث
وبروز للوجنة
Broad face
وجه عريض
تنمّي للقذال
Nuchal development

Homo ergaster KNM ER 3733





الصور ٢٠– ٨ بعض متحجرات Homo habilis وإعادات بناء له

كان البشريُّون Homo المبكِّرون صغار الأحجام بمقاييسنا كبشر حديثين، فكان طولهم ربما فوق المتر بقليل (أو الأربعة أقدام)، لكنهم كان لهم على الأقل نفس الوزن مثل معاصريهم من القرود البشرانيين الجنوبيين الغلاظ، بوزن حوالي ٣٠ إلى ٥٠ كجم (٦٥ إلى ١١٠ أرطالٍ). رغم ذلك، فإن الاختلاف في حجم المخ مذهل. كان حجم مخ الفرد منهم حوالي ٦٥٠ سنتيمترًا مكعَّبًا، أكبر بدرجة معتبَرة وكبيرة من مخِّ قردٍ بشرانيٍّ جنوبيٍّ australopithecine [أسترالوبِثِكُسْ أو أَسترالوبِثِكيٍّ]. بالتالي فقد تميَّز البشريُّون المبكِّرون بمستوى جديد من تنظيم المخ.

لدينا القليل فقط من متحجرات عظام Homo Habilis، لكن هناك أدلة كافية من متحجرات الأيدي والأرجل والأقدام للاقتراح بأنه قضى كثيرًا من عمره في تسلق الأشجار.

لدينا سجل جيد من الأدوات التي استعملها Homo habilis (والتي على الأرجح استعمل أمثالها Australopithecus garhi قبله). إنها تُدْعَى الأدواتِ الأُلْدُوانيَّة Oldowan أو الأُلدُڤاوية لأنها اكتُشِفَتْ وتُعُرِّفَ عليها أولَ مرةٍ على أيدي علماء المتحجرات من آل ليكي Leakey الكينيين البريطانيين في منطقة أولدُڤاي جورج Olduvai Gorge. كثيرًا ما تكون أشياءً كبيرةً تبدو بدائية خرقاء ذوات أشكال بسيطة، ولم تكن كلها أدوات مفيدة في حد ذاتها. بدلًا من ذلك، فالكثير من هذه الأشياء ربما كانت مراكز أو ألباب الصخور الأكبر حجمًا المطروحة التي نُحِتَتْ واقتُطِعَتْ منها الأنصال الرقيقة المكسورة المستعمَلة للتقطيع والكشط بطرقها بصخور أخرى (الصورة ٢٠– ٩).



الصورة ٢٠- ٩ مصنوع بشري أُلْدُواني. ربما كانت نوعًا ما من الأدوات في حد ذاتها، ومع ذلك فربما كانت لب صخرة اقتُطِعَ منها أدوات أصغر أكثر فائدة.

تُثْبِتُ الأدوات الأُلْدُوانيَّة استعمال الحجارة بطريقة قصديَّة واعيَة، وقد صُنِعَت واستُعْمِلَت الأنصالُ الرقيقة على الأرجح لتقطيع المواد الغذائية. كمثالٍ، كشف التنقيب في حوض بحيرة توركانا عن هيكل عظمي متحجر لفرس نهر [برنيق] قبع بجوار طبقة كان فيها نهر قديم. الحصى الموجود على نحو طبيعي بالقرب على ضفاف الأنهار الحصوية كُسِرَ لإنتاج أدوات بسيطة. تُثبِتُ العلاماتُ على عظام البرنيق أنه قد كُشِطَ عنه اللحم، وأن الأوتار والأربطة قد كانت قد قُطِعَت للتمكين من أخذ اللحم من الجثة. لم يكن هناك دليل على أن البرنيق قد قُتِلَ عن طريق الأدوات.

أعاد Nicholas Toth إنتاج أدوات مصنوعة على النمط الأُلْدُواني من أنواع صخور شرق أفريقيا واستعملها (انظر Schick and Toth، ١٩٩٣). قد برهن أن صانعي الأدوات كانوا محنَّكين في اختيار الصخور الملائمة وصنع معظمهما منها. برهنت تجربة Nicholas Toth على جثث طازجة لحيوانات شرق أفريقية على أن الفؤوس والأنصال الأُلْدُوانيَّة أدوات ممتازة لشق الجلود وجزارة الجثث وكسر العظام للحصول على النخاع. كان Toth قادرًا أيضًا على تقرير أن Homo habilis كان أيمنَ اليدِ!

لقد زار البشريون بعض مواقع أُلْدُوان Oldowan عدة مرات. إنها تحتوي على أكوام من العظام والحجارة والأدوات التي جُلِبَتْ إلى الموقع خلال سنوات طوال. لقد صُنِعَت الأنصال الرقيقة في الموقع من الحجارة التي كانت قد حُمِلَتْ هناك. هذا قد لا يدل على عودة منتظمة لموطنٍ، لكنه يدل بالفعل على عودة واعية لمواقع ربما كانت مناسبة على نحو خاص لمعالجة الطعام وصنع الأدوات.

التطور من بابون متفوق إلى مفترس أو شبه ابن آوي متفوق

هل كان البشريون Homo المبكرون صيَّادين أم مُتَقَمِّمين؟ ربما كان هذا سؤالًا بلا معنى، لأن كل الصيادين سيأكلون الجثث الطازجة، وكل المتقممين سيقتلون ببهجة فريسة عاجزة لو استطاعوا. تقترح الأدلة من توركانا وأولدوفَاي Turkana and Olduvai أن البشريين Homo المبكرين كانوا متقممين على جثث كائنات أكبر حجمًا لكنهم اصطادوا الفرائس الصغار والمتوسطي الأحجام. بالتالي فربما كان للبشريين المبكرين إيكولوجية ابن آوى متفوق، باحثين في مجموعات عبر مسافات طويلة عن الجثث الكبيرة الطازجة التي قتلها مفترِسون آخَرون. للخراتيت والبرانيق [أفراس النهر] والأفيال جلود سميكة ومتينة يصعُب على النسور وابن آوى والضباع خَرْقُها، لن الأدوات الحجرية مكَّنَتْ جنس البشريين Homo من جعل تمزيق أوصال الجثث الكبيرة عملًا قصيرًا سريعًا [من إنجازه سريعًا]. من بين لقايا الجثث الخاصة بالحيوانات الكبار الأحجام، ربما بحث البشريون المبكرون عن قتلى النمور من الحيوانات المتوسطي الأجسام المتروكين معلَّقين على الأشجار. ربما كان البشريون المبكرون أيضًا صائدين انتهازيين للفرائس الصغار والمتوسطي الأحجام التي كانوا يجلبونها للمواقع المركزية لهم لذبحها، وأيضًا باحثين عن الفواكه والثمار اللبية اللحمية كالعنب والموز أو التوت والحبوب والجذور واليرقات والجراد والسحالي. ربما أكل Australopithecus africanus [القرد البشراني الجنوبي العَفَاري] الحيوانات الصغار الأحجام هو أيضًا. لقد استعمل البشريون

Homo المبكرون (وعلى الأرجح Australopithecus garhi القرد البشراني الجنوبي المدهش والصانع للأدوات) الأدوات لجعل نمط الحياة الانتهازية أكثر كفاءةً[1].

إن هذا المفهوم مثيرٌ. لقد أُتِيحَ فراغٌ أو كُوَّةٌ إيكولُجِيَّة [اعتياشية] جديدة، أو صارت أكثر إفادةً، مع اختراع الأدوات والقدرة على استعمالها بوعي وذكاء. لقد كان علماء الأجناس البشرية الأمرِكِيُّون الزائرون لأفريقيا بدون أي خبرة سابقة مع الأدغال الأفريقية قادرين على التعلم سريعًا لكيفية العثور على الجثث التي قتلها النمور سواء الكبيرة الجثث في الأراضي المشجَّرة أو الجثث الأصغر حجمًا المعلَّقة على الأشجار. (انظر Blumenschine and Cavallo، ١٩٩٢)؛ إنه لعقلاني تمامًا توقُّعُ أن البشريين Homo المبكرين استطاعوا القيامَ بذلك أيضًا. التغيرات الشبه المتزامنة أوالناتجة التالية في النظام الغذائي وحجم المخ وربما حتى البنية الاجتماعية تتوافق مع التحسنات والتطورات السريعة كما تبدو لفي سمات الجمجمة في البشريين Homo المبكرين، لكنْ ليس في تشريح الجسد، وحلولهم محل القرود البشرانية الجنوبية الرشيقة أو النحيلة gracile australopithecines. وربما لم يتنافس البشر المبكرون إيكولُجيًّا مع القرود البشرانية الجنوبية [الأُسْتْرالوبِثِكِيَّات] الغليظة القويَّة التي كانت باقية على قيد الحياة. وإنه ليقينيٌّ مؤكَّدُ أن الأُسْتْرالوبِثِكِيَّات الغليظة القويَّة robust australopithecines والبشريين Homo عاشوا وتواجدوا سويًّا لأكثر من مليون سنة في نفس البيئات.

يستطيع المرء تصور كيفية تحسن قدرة البشريين المبكرين التنافسية عن طريقة استكشاف واستغلال إمكانيّات استعمال الأدوات. كان صنع الأسلحة سينتج على نحو طبيعي من استعمال الأدوات في أثناء التقمُّم. يمكن نقل الطعام والأطفال من مكان إلى آخرَ بأمانٍ بوجود أدواتٍ محمولة. عمِل التعقيدُ السلوكيُّ المتزايدُ على الأرجح على زيارة قيمة نمو المخ والقدرة على التعلم، وربما يمكننا التفكُّر (لكنْ ليس على نحو مغالى فيه) بصدد القيمة المتزايدة للتواصل المعقد أو القيمة المتزايدة للحاجة إليه في وبين المجموعات الاجتماعية للبشريين.

البشرانيُّون Hominids والقططيَّات الكبيرة في جمهورية جنوب أفريقيا

جاءت معظم متحجرات البشرانيّين [hominids فئة تجمع القرود البشرانيين والبشريين] المعثور عليها في جمهورية جنوب أفريقيا من كهوف، الكثير منها له مداخل مرتفعة جدًّا أو عمودية. إنه لغير مُرَجَّح أن البشرانيين hominids عاشوا في الكهوف. بدلًا من ذلك، فقد سقطت أكوامُ العظامِ في الكهوف من الأعلى. وبالإضافة إلى متحجرات هياكل البشرانيين hominids (في أغلبها لقرود بشرانيين جنوبيين australopithecines)، تضمَّنَتْ المتحجراتُ متحجراتِ عظامِ قوارضَ ووَبْرٍ [زَلَمٍ] وظِباءٍ وقرود بابون [رُمَاح] ونوعين الضباع ونمور وثلاثة أنواع منقرضة من القططيَّات السيفية الأنياب التي كانت تصطاد بالكمون والتسلل، أحدها كان كبير الحجم بحجم أسدٍ والاثنان الآخرات بحجم نمرٍ.

لاحظَ C. K. Brain أنَّ متحجرات جماجم حيوانات الوَبْرِ [الزَلَمِ] في رواسب الكهوف كلها متضرّرة بطريقة معيَّنة (انظر Brain،١٩٨١م). إن النمور يأكلون حيوانات الوبْر بكاملها دائمًا، باستثناء الفرو والأحشاء والجمجمة والفكين، وعندما يصلون إلى المخ واللسان فإنهم يتركون علاماتِ أسنانٍ مُمَيَّزة على الجمجمة، مشابهة تمامًا للتي على متحجرات حيوانات الوَبْرِ. ويستطيع الفهود أكلَ الأعمدة الفقارية لقرود البابو لكن ليس الأعمدة الفقارية للظباء. تتضمن المتحجرات من كهف Swartkrans سْوُوْرْتْكْرَنْزْ الكثير من الفقرات الخاصة بالظباء، لكنْ لا توجد فقراتٌ لقرود بابون. توجد متحجرات جماجم بابون فقط. علاوةً على ذلك، تبدو متحجرات الكهوف كما لو كانت قد اختيرت حسب الحجم. هناك القليل جدًّا من الهياكل العظمية لأطفال قرود البابون في كهف Swartkrans، والكثير من أطفال القرود البَشَرانيّين الجنوبيين australopithecines. يظهر على بعض متحجرات جماجم الرئيسيَّات علاماتُ أسنانٍ تبدو بالضبط مثل التي تصنعها اليومَ أنيابُ النمورِ. بعض متحجرات الظباء أكبر حجمًا من الذين يقتلهم النمور في العصر الحالي، وربما كانت القططيَّات السيفية الأسنان مسؤولة عن افتراسها.

يُفَضِّل النمورُ في العصر الحالي حملَ فرائسهم إلى أعلى الأشجار. على السهول الجنوبي أفريقية المكشوفة، فإن مداخل الكهوف من الأماكن القلائل التي يمكن للشجيرات أن تنبُتَ فيها بمأمن من المرتعين على أوراق الشجر ومن النار وصقيع الشتاء. اقترح Brain أنَّ القططيَّات السيفية الأسنان الخاصة

---

[1] في علم الأحياء (البيولُجي) فإن الكائن المتعضي الانتهازي يُعرَّف في العموم بأنه نوع يستطيع العيش والازدهار في ظروف بيئية متنوعة وتغذية نفسه بعدد من الموارد الغذائية المختلفة أو يستطيع استغلال الظروف المواتية متى ما أتيحت ونشأت، لأنه مرن سلوكيًّا على نحوٍ كافٍ، ويستطيع تأخير التكاثر أو أن يظل في سبات حتى تصير الظروف مناسبة للنمو أو التكاثر.

بعصري البِلَيوسين والبِلَيستوسين[1] [عصري الحديث القريب والأقرب] قتلوا فرائسَهم ثم حملوهم إلى أماكن آمنة لأكْلِها، بدون إزعاجٍ من حيوانات ابن آوى والضباع، على الأشجار النامية عند مداخل كهوف مثل كهفي Swartkrans و Sterkfontein. كانت الأجزاء الغير مأكولة من الجثث تسقط في الكهوف، بعيدًا عن الضباع وسائر المتقمِّمين، ودُفِنَت وحُفِظَتْ كمتحجراتٍ عندما ملأتْ رواسب التربة والحتات والحطام الصخري والحجر الجيري الكهوف.

ربما كانت القرود العليا الأشبه بالبشر Hominoids [فئة تضم القرود العليا الأشبه بالبشر والبشرانيين] وجبةً مفضَّلةً للقططيات السيفية الأسنان لزمنٍ طويلٍ. تتألف الكثير من العينات المحفوظة على نحو جيد المعثور عليها الخاصة بالقرود الشيڤيّة [أو الشيڤَابِتِكِيَّات] sivapithecids وقرود الجِبون في جنوبي الصين _والتي تعود إلى حوالي ٦ ملايين سنة ماضية_ في معظمها من جماجم شبه كاملة وشظايا جماجم، مع عظام أخرى قلائل لباقي الهيكل العظمي، وهناك أنياب سيفية كبيرة ومثيرة للإعجاب في نفس الطُبَيْقاتِ.

كان القططيَّات الكبار الحجم هم المفترسون المهيمِنون في جمهورية جنوب أفريقيا عندما تكوَّنتْ رواسب الكهوف، ونستطيع تصورَهم يتسللون خلسةً ويقتلون حيوانات مفترَسة كبيرة الحجم تمامًا، بما في ذلك القرود البشرانيين الجنوبيين الغلاظ Australopithecus robustus. لكنَّ هناك متحجرات قليلة نسبيًّا وبالمقارنة للبشريَّينَ Homo المبكِّرين في رواسب كهفَيْ Swartkrans و Sterkfontein أو أي رواسب مبكرة لكهوف أخرى، مما يوحي بأنَّ البشريين المبكِّرين كانوا إما نادرين أو آمنين نسبيًّا من القططيَّات الكبار الأحجام بفضل عاداتهم أو ذكائهم أو وسائلهم الدفاعية واسلحتهم. لا ينبغي وليس بالضرورة أن البشريين المبكرين كانوا منيعين ضد افتراس القطط الكبيرة، بل فقط مدافعين جيدًا على نحوٍ كافٍ حيث أن القطط الكبيرة اصطادَتْ فرائسَ أخرى معظمَ الوقتِ. لقد حلَّ جنسُ البشريين Homo محلَّ القرودِ البشرانيين الجنوبيين Australopithecus [قرود الأُسْتْرالوُبِتِكُسْ] في جنوب أفريقيا.

هناك الكثير من متحجرات عظام Australopithecus africanus [القرد البشراني الجنوبي أفريقي] في طبقة الصخور المسماة[2] قسم ٤ في كهف Sterkfontein، ولكنْ بدون أدواتٍ متروكة. أما قسم أو جزء ٥ _والذي يقع فوقه_ فيحتوي على الكثير من الأدوات، تتضمَّنُ فؤوسًا وأدواتِ حفر، وعظامَ حيواناتٍ عليها علاماتُ قطعٍ، والقليل من متحجرات Homo habilis [يعني اسمه البشري الماهر في صنع الأدوات]. إن الاختلاف بين هاتين الطبقتين مذهل في كل جوانب سجليهما الحفريين. وكما يرى Brain الأمرَ، فإن إزاحة البشريين Homo للقططيات الكبار الأحجام ليصيروا المفترِسين المهيمِنين في جنوب أفريقيا كان خطوة كبيرة رئيسية باتجاه سيطرة الإنسان على الطبيعة، وبداية نشأتنا للهيمنة والسيطرة على الكوكب.

البشري المنتصب القامة (هومو إرِكْتُسْ) Homo erectus: أهو أول بشري حقيقي؟

حدثت تغيرات غير عادية في النظام الإيكولُجِيّ الخاص بالسهول الأفريقية، بدءًا من ٥, ١ مليون عام ماضٍ. إنه لمن المغري الجذاب ربطها ذهنيًّا بظهور نوع جديد من البشر، وهو Homo erectus. اكتُشِفَتْ عيّنةٌ ممتازةٌ لـ Homo erectus في عام ١٩٨٤م غربَ بحيرة توركانا في كينيا، في رواسب تؤرَّخ بحوالي ٥, ١ مليون عام ماضٍ. رغم أن العظام كانت قد داستها الحيوانات، بحيث أن العظام كانت مكسورة ومتناثرة على مسافة ٦ أو ٧ أمتار، فقد استرجع الجمع المتأنِّي لها متحجرةَ هيكلٍ عظميٍّ كاملٍ تقريبًا. جاءت المتحجرة لصبيٍّ عمره ١١ أو ١٢ سنة كان طوله واقفًا ٦, ١ متر ارتفاعًا (٦٥ بوصة أو ٢٥, ٥ قدم). (الصورة ٢٠– ١٠). يحتمَل لذلك أن الذكور البالغين كان طولهم واقفين قريبًا من ٨, ١ متر (٦ أقدام) ارتفاعًا في زمن ٥, ١ مليون عام ماضٍ. كان الأنف مكبَّرًا وبارزًا، كما في البشر الحديث وعلى خلاف القرود البشرانيين الجنوبيين بأنواعها [الأُستْرالوبِتِكِيَّات] australopithecines و Homo habilis. هذه السمة توحي بأن Homo erectus كان متكيفًا لتعرُّضٍ أكبرَ للهواء الجافِّ، لفتراتٍ طويلةٍ وفي أثناءِ نشاطٍ أكبرَ.

---

[1] البِلَيوسين Pliocene: الحديث القريب، الحقب الأخير من العصر الثالث ، حيث يأتي بعد الكَيوسين وقبل اِلبلَيِسْتُوسين، وامتد من نحو ٥ إلى مليوني سنة خلت. والبلَيِسْتُوسين أو البلايِستوسين Pleistocene العصر الحديث الأقرب، وهو أول عصر في الدور الرابع Quaternary من العصر الحديث ويدعى ايضًا بالعصر الجليدي.

[2] Member: قسم، عضو، جزء، طرف، وحدة طباق عضو صخرية تحوي جزءًا أو قسمًا من التكوين الصخري متميز بصفات صخرية محددة وله توزيع جغرافي واسع، وهي أعلى وحدة أو رتبة في تقسيم الطبقات.



الصورة ٢٠- ١٠ متحجرة صبي Nariokotome، المرقمة برقم KNM–ER–15000، وهي أفضل عينية لـ Homo erectus [بشري منتصب القامة] مبكِّر، عُثِر عليها عامَ ١٩٨٤م قُربَ بحيرة توركانا في كينيا.

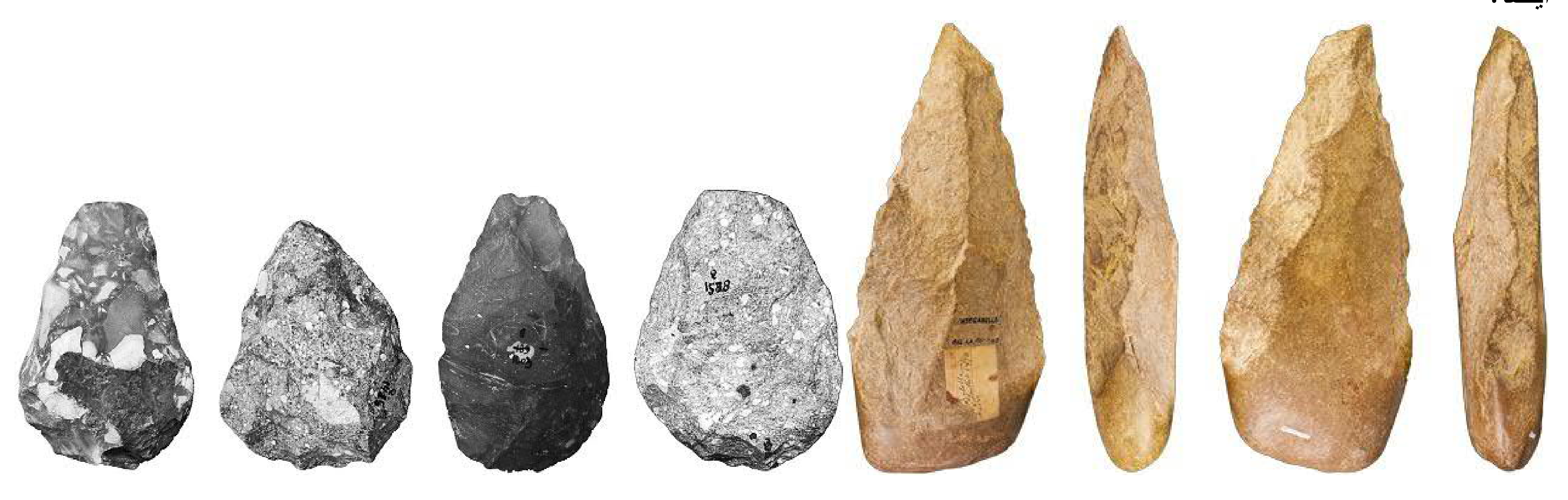
كان Homo erectus قويَّ البنية، ومتخصِّصًا في المشي والجري ذا وركٍ كبيرٍ ومفاصلَ ظهريَّةٍ قادرةٍ على تحمُّلِ ضغوط خطوات الجري الكاملة. توجد أدلة [تشريحية] أقل على القدرة على تسلق الأشجار مما هو في البشريين Homo المبكرين، رغم أن Homo erectus كان ليكون أفضل لقدرتنا على القيام بذلك. كان لـ Homo erectus أيضًا سمات متقدمة للجمجمة. كانت الجمجمة سميكة وثقيلة بمعاييرنا، لكنْ كان حجم المخ قد ازداد إلى حوالي ٩٠٠ سم مكعب،



إحدى متحجرات جماجم Homo erectus

بعض إعادات البناء المتصوَّرة لـ Homo erectus

على نحوٍ مفاجئ تمامًا، عند زمن حوالي ٤, ١– ٥, ١ مليون سنة ماضية، وُجِدَ في كل أنحاء شرق أفريقيا Homo erectus مترافقين مع مجموعة جديدة تمامًا من الأدوات الحجرية. كانت عُدة أو مجموعة الأدوات المعروفة بالأشوليَّة Acheulean[1] أكثر فاعليةً من الأدوات الأُلْدُوانية Oldowan الأقدم، لكنْ برهنت التجارب التي قام بها Nicholas Toth أن الأدوات الأشولية Acheulean تطلَّبَتْ قوةً ودقةً أكبرَ بكثيرٍ لصنعها واستعمالها أكثرَ من الأدوات الأُلْدُوانية. شكَّلَ البشريون الماهرون الصانعون للأدوات الأشولية ألبابَ الصخور إلى فؤوسٍ وسواطير ثقيلة في نفس الوقت الذي رقَّقوا فيه أدواتٍ للتقطيع والكشط أصغر حجمًا. معظم الأدوات الأشولية يَحسُن فهمُها على أنها أدواتُ جزارةٍ شديدة التحمل للاستعمال (الصور ٢٠– ١١). وحوالي ذلك الزمن، انقرض كل القرود البشرانيين الجنوبيين الغلاظ robust australopithecines والقرود البشرانيون الجنوبي أفريقيون Australopithecus africanus [الرشيقو الجسم] والقططيات السيفية الأنياب في جنوب أفريقيا. وكانت كل الأنواع الأخرى من البشريين Homo المبكرين قد انقرضت من قَبْلُ من كل أفريقيا. وبحلول زمن مليون عام ماضٍ، كان آخر القرود البشرانيين الجنوبيين الغلاظ وآخر نوعين من القططيات السيفية الأنياب قد انقرضوا أيضًا.



[1] المنسوبة إلى أول مكان اكتُشِفَت فيه وهو مدينة القديس Acheul الفرنسية في القرن التاسع عشر على يد Gabriel de Mortillet الذي وصفها لأول مرة.

الصور ٢٠- ١١ عدة أدوات أشوليَّة Acheulian or Acheulean، مصمَّمة على نحو جيد للتحمل الثقيل الاستعمال لأعمال الجزارة.

إنه لمن المغري ربط كل هذه الأحداث بتحقُّقِ مستوىً جديد من القدرة التفكيرية والجسدية والتقنية الفنية على نحو درامي [أيْ كبير ومفاجئ] في Homo erectus [البشري المنتصب القامة]. لقد كان Homo erectus أكبرَ حجمًا من أي بشريٍّ سابقٍ عليه. يعتقد معظمُ علماءِ المتحجراتِ أن الأدلة من تركيب جسده والأدوات وبقايا الحيوانات المعثور عليها مع Homo erectus بأنه كان أول صيَّادٍ بشريٍّ فعَّالٍ للحيوانات الكبار الأحجام. لقد اقترح Alan Walker أن كامل النظام الإيكولُجِيِّ الخاص بالساڤانا الأفريقية أُعيدَ تنظيمُه عندما صار الـ Homo erectus [البشري المنتصب القامة] المفترِس المهيمِن [في قمة الهرم أو السلسلة الغذائية] بدلًا من طريقة عيش أسلافه التطوريين كباحثين عن الطعام ومتقمِّمين على الجثث وصيادين على مقياسٍ صغيرٍ (انظر Walker and Shipman، ١٩٩٦). توحي مواقع المذابح التي بها متحجراتُ عظامِ حيواناتٍ مجزورةٍ مستوىً معقَّدًا من الإنجاز.

إن القوام الجسدي والتأثير الإيكولُجِيَّ الخاص بهذا النوع الجديد [في عصره] من البشريين Homo هما السبب الذي جعل بعضَ الخبراء يقترحون أننا ينبغي أن نعيد تحديدَ أصل ونشأة جنس البشريين Homo بظهور Homo erectus [البشري المنتصب القامة]، ربما بتصنيف Homo habilis وأشكال انتقالية أخرى في جنس خاص مستقل بنفسه لن يكون جنس البشريين Homo.

كانت أول متحجرات اكتُشِفَتْ وسُمِّيت باسم Homo erectu قد جُمِعَتْ في الحقيقة منذ مئات السنوات الماضية من جزيرة جاڤا [جاوة]، في إندونيسيا المعاصرة. ربما تكون أقدم عينات جاڤا بقِدمٍ يصل إلى ٨, ١ مليون عام ماضٍ، رغم أن هذا التأريخ محل خلاف. رغم ذلك، فقد عُثِرَ على عيِّناتٍ لـ Homo erectus في جنوبيِّ القوقاز، في جورجيا، ويعود تأريخُها إلى حوالي ما يترواح بين ٧, ١- ٨, ١ مليون عام ماضٍ. يبدو مُرَجَّحًا على نحوٍ متزايدٍ أن هجرة Homo erectus من أفريقيا إلى آسيا حدثت تقريبًا حالما تطور نوعُهُ. لقد كانت سريعةً، وامتدَّتْ عَبْرَ المناطقِ الدافئةِ الخاصة بجنوبيِّ آسيا من الشرق الأوسط إلى إندونيسيا.

توجد القليل من المتحجرات الأفريقية المبكرة جدًّا التي يُمْكِنُ نِسْبَتُها من جهة التركيب الجسدي إلى Homo erectus. وهي تؤرَّخ بتاريخ حوالي ٨, ١ مليون عام ماضٍ، قبل اختراع الأدوات الأَتشيوليَّة بالضبط في أفريقيا. بالتالي فلدينا مجموعتان سكانيتان من Homo erectus، أحدهما في أفريقيا والأخرى في شرق آسيا. لم يكن لدى أيٍّ منهم آنَذاكَ الأدواتُ الأَتشيوليَّةُ، والتي ظهرت في أفريقيا عند حوالي ٥, ١ مليون سنة ماضية، كما قد علمنا.

هل ينبغي علينا أن ندعو كل هذه المتحجرات بشريين منتصبي القامة Homo erectus، بما يعني أنهم كلهم كانوا نفس النوع؟ يجادل كثيرٌ من العلماء الأكاديميين بأن الجينات لا يمكن نقلها بين هذه المجموعات السكانية المنفصلة، وأن الأدوات الأتشيولية ينطبق عليها نفس الأمر أيضًا. تمضي الحجة الجدلية قائلةً: بالتالي، بما أن الآسيويين منهم يحملون اسم Homo erectus، فإن الأفريقيين منهم يحتاجون اسمًا جديدًا (في العادة يُستعمَل اسم Homo ergaster [البشري العامل]).

رغم تغير الأسماء، فإن الحقيقة التطورية هي أن أسلاف Homo erectus غادروا أفريقيا حالما تطور جنس البشريين Homo هناك تقريبًا، قبل أن يخترع الفرع الأفريقي الأدوات الأَتشيوليَّة.

تتوافق عينات أخرى لـ Homo erectus من الصين مع هذه القصة. العينات الصينية لها عمر حوالي مليون سنة وهي أحدث زمنيًّا. ربما وصل Homo erectus إلى أماكن شرقية بعيدة مثل جزيرة Flores فلورز أو الزهور، في إندونيسا، قبل ٧٥٠ ألف عام ماضٍ، وهو إنجاز يتضمَّن عبورَ بحرين طول أحدهما ١٥ والآخر ١٢ ميلًا. ليست هناك متحجرات، بل أدوات قليلة فقط، لكن القصة تتلاءم مع حقيقة أن ثلاثة حيوانات كبار الأحجام انقرضوا على نحو مفاجئ تمامًا على جزيرة فلورز عند زمن حوالي ٩٠٠ ألف عام ماضٍ، وهي الأفيال الأقزام والسلاحف البرية الضخمة وسحلية عملاقة ذات قرابة تطورية لسحلية تنين كومودو.

لِلْعَيِّناتِ الآسيوية من Homo erectus أنماطها الخاصة بها من طريقة صنع الأدوات الحجرية. كان للعينات من جزيرة جاڤا حجم مخ أقل بقليل من ألف سم مكعب، لكن حجم المخ كان قد وصل إلى ١١٠٠ سم مكعب بحلول زمن "إنسان بكين" الذي قطَنَ الكهوف قرب بكين فيما بين ٥٠٠ و٣٠٠ ألف عام

ماضٍ. إن التوطن الطويل الزمن الناجح في شمالي الصين من جانب هؤلاء البشريين يدل على أنهم كانوا قد حلوا مشاكل البقاء على قيد الحياة والنجاة من مناخ موسمي صعبٌ مُتَحَدٍ. صنع بعض البشريون المنتصبو القامة Homo erectus الآسيويون أدوات من أسنان الخرتيت، حيث أنهم كانوا يعيشون في منطقةٍ ليس بها صخور جيدة لصنع الأدوات.

هاكم المشكلة في فصل هؤلاء البشريين إلى Homo erectus و Homo ergaster: لو كان البشريون hominids قد انتشروا على مدى متسع لكن بتباعد عن بعضهم البعض عبر أنحاء العالم القديم، كانت المجموعات المنتشرة على مدى متسع ستنزع إلى الاختلاف في بعض السمات، التشريحية والثقافية على السواء. لكن هل صاروا مجموعات منفصلة منعزلة بالكامل، جغرافيًّا وجينيًّا، على نحو طويل بدرجة كافية ليتطوروا إلى نوعين منفصلين؟ يستطيع المرء النظر إلى قياس أو تشابه معاصر؛ فالنمور يمتد توزعها على مدة من جنوبي أفريقيا وحتى الساحل الآسيوي الخاص بالمحيط الهادئ. لن يجادل أحدٌ بأنهم ليسوا إلا نوعًا واحدًا.

يصعُب فصل الواقع عن النظرية، ويستحيل استعمال منهج تسمية يُرضي الجميعَ. حتى قراء مجلة National Geographic "الجغرافيَّة القوميَّة أو ناشيونال جيوجرافِك" عليهم أن يتعاملوا مع فوضى مناهج تسمية متعددة، كلٌّ منها له أنصاره المتحمسون والذين كثيرًا ما يكونون متعصِّبين.

لقد تركت هجرة Homo erectus أثر مسار رحلة للإنسانية امتد من جمهورية جنوب أفريقيا حتى آسيا الشرقية. تطوَّرَ في كل هذه المجموعات السكانية حجمُ جسدٍ أكبرُ وسمات أكثر تقدمًا للجمجمة وكلهم صنعوا أدواتٍ جديدةً. لا يوجد سبب أو دليل واضح للادعاء بأنهم انفصلوا وتباعدوا إلى نوعين أو أكثر. إن الجماجم المؤرَّخة بتاريخ منذ مليون عام ماضٍ تقع بالضبط ضمن مدى نوع واحد وهو Homo erectus، وذلك بعد مرور قرابة مليون سنة على الانفصال المفترَض. وبالنظر إلى طبيعة البشر المتنقِّلة، فلم يكن هناك انفصال حتمي درامي أو طويل الأمد بين هذه المجموعات السكانية التي استعمرَتْ كل المناطق الاستوائية. لقد كان هناك نوع بشري واحد مؤسِّس ومهيمِن، وهو Homo erectus، مع وجود تنوعات محليَّة في التشريح والثقافة، تمامًا مثل Homo sapiens الإنسان العاقل أو المتدبر في الزمن الحالي. على الأقل، فهذه فرضية يمكنها الصمود حتى تظهر أدلة جديدة أكثر.

يبدو أن Homo erectus كان أولَ نوعٍ يتحكَّم في النار. هناك دليل قوي على معسكرات إشعال النار في كهف في جمهورية أفريقيا في Swartkrans، يؤرَّخ بعمر مليون سنة ماضية على الأقل، وعاش Homo erectus في شمال الصين البارد منذ حوالي ٤, ١ مليون عام ماضٍ.

إننا نعلم من شكل الحوض أن الأطفال الرضع لـ Homo erectus كانوا يولَدُون عاجزين بنفس قدْرِ عجز الأطفال الرضع للبشر الحديثين، وإنه لواضحٌ أن المخ كان ينمو كثيرًا بعد ولادتهم، كما تنمو أمخاخُنا. هذا يتضمَّنُ فترةَ رعايةٍ طويلةٍ للرضَّع الذي لم يستطع المشيَ لعدةِ أشهرٍ على الأرجح. هذا ثمنٌ هائلٌ لدفعِهِ مقابِلَ مخٍّ أكبرَ حجمًا، وسيكون ذا شأنٍ تطوريًّا ليُنْتَخَبَ طبيعيًّا لو كان هناك مقابلٌ كبيرٌ للتعلُّمِ والذكاءِ.

تدل كل هذه الأنواع من الأدلة ضمنًا على بنية اجتماعية معقَّدة ومستقرَّة للبشريين المنتصبي القامة Homo erectus، رغم أن التفاصيل غير متاحة بالتأكيد. سأعلق تعليقًا واحدًا خاصًّا بي. إن التعاون المتطلَّبَ لإشعال النار والتحكم فيها والحفاظ عليها ونقلها عالٍ جدًّا. يصعُبُ (بالنسبة لي) تصوُّرُ معسكرِ نارٍ بدونِ محادثةٍ. لكنْ حالما تطورت في أيِ بشريّين لغةٌ، فإن هذا بَدَأَ العملية الجديدة الخاصة بنقل المعلومات والمعرفة المجرَّدة النظريَّة مباشرةً وفورًا من فردٍ إلى آخَرَ، لتحلَّ محلَّ الوسائلِ الغيرِ مباشرةٍ مثل التناول والعرْض والتقليد أو تشارك نفس الخبرة الواقعية. لا بد أن القدرة على اختصار عملية التعلم والتعليم وجعلها أكثر مباشرةً قد سمحَ بنقل واستيعاب والحفاظ على معرفة أكثرَ بكثير في المجتمع، مع أفضليَّاتٍ واضحةٍ لكل أفراده.

التعديلات اللاحقة في تقنيات التعليم أفادت على نحو رئيسي في تسريع نقل المعلومات وجعل ذلك النقل مُمْكِنًا رغم المسافات، من خلال اختراع الكتابة والقراءة، والحروف والأرقام، والمدارس والطباعة والتليفونات والإعلام والدعاية وما شابَهَ.

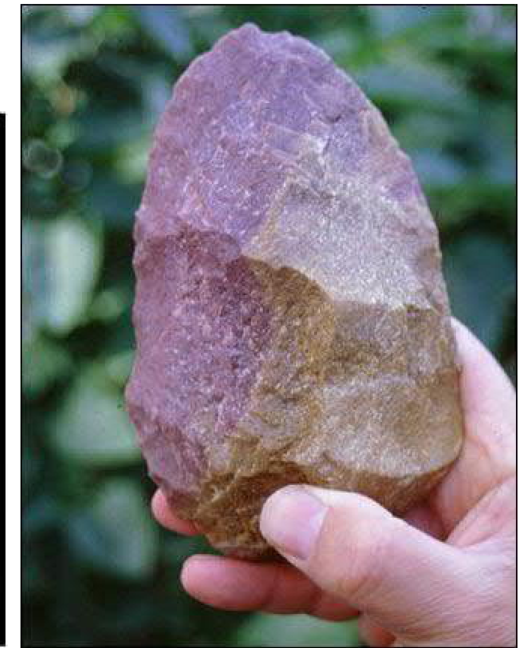
يعتقد كثيرٌ من الخبراءِ أن اللغة اختراع حديث زمنيًّا جدًّا، اخترعه على نحو جوهري الإنسان الحديث العاقل Homo sapiens. قد يكون صحيحًا منطبقًا على النشاط المعقَّد الذي يُجِيده كلُّ البشرِ الحديثين، لكن لا بد أن اللغة قد تطورت، مثل كل صفة مميّزة أخرى للبشر الحديثين. إني لَأَظُنُّ أن الانفجار

المعلوماتيي الذي تسببت به الإلكترونياتُ الحديثةً هو مجرد الأخير في سلسلةٍ بدأتْ حول نار المعسكرات منذ مليون عام ماضٍ. هذا الكتاب وجهاز الماكِنتوش Macintosh الذي كتبتُه عليه هما استمراريَّتان مباشرتان لذلك التقليد.

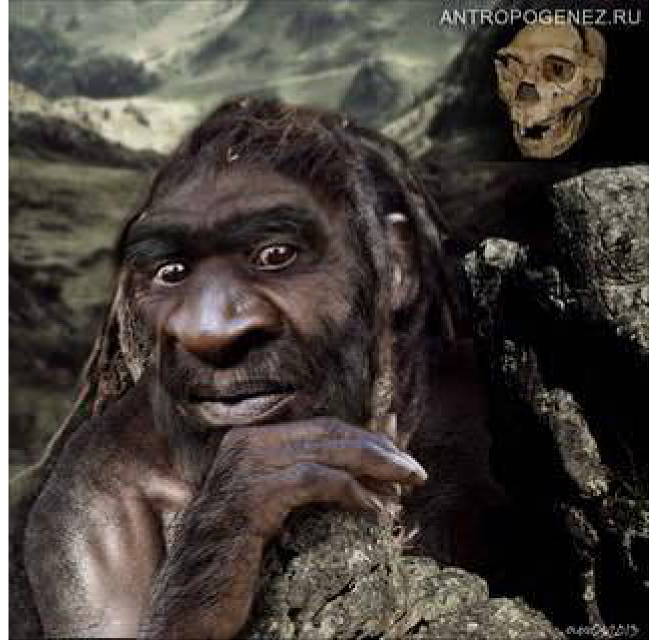
ما بعد البشريين المنتصبي القامة Homo erectus

بعد Homo erectus، تصير قصة تطور البشر مشوَّشة وملخبَطة جدًّا حيثُ أنَّ علماء الأجناس البشرية [الأنثروبولُجيِّين] يتجادلون حول أصل البشر الحديثين. كلما تراكمت أدلة المتحجرات والمعلومات الخاصة بالبيولُجِي الجزيئية، يقبل الأنثروبولُجيُّون تقسيماتٍ أصغرَ أدقَّ فأدقَّ للأنواع. في عام ٢٠٠٣م لدينا رأيٌ للأغلبية من العلماء بأن أنواعًا عديدة من البشريِّينَ Homo قد تطوروا خلال آخر مليون سنة ماضية، مع انقراضها كلها ما عدا واحدًا. وكما هو الحال دومًا، فأنت حرٌّ في أنْ تُنْشِأَ تفسيرَكَ وفهمَكَ الخاصَّ بكَ للقصة، وكما هو الحال دومًا، فسوف تجعلنا بياناتُ الأدلةِ الجديدة كلَّنا نعيد التفكير والتفسير في المستقبل.

وفقًا لقصة الأغلبية العلمية الحالية، فإن بعض المجموعات السكانية المحلية الخاصة بـ Homo erectus و/ أو Homo ergaster تطوَّرَتْ على نحو مستقل وهام. لقد اقتُرِح تصنيفُ نوعٍ مستقلٍ _يُسَمَّى Homo antecessor [البشريون الرواد أو المستكشفون الرحالة للاعتقاد بأنهم من أقدم أنواع البشريين التي خرجت من أفريقيا إلى أوراسيا، وصفاتهم خليط من البدائية والحديثة] _ كمجموعة من عينات محفوظة جيدًا كمتحجرات ومُمَيَّزة عُثِرَ عليها في إسبانيا، وتؤرَّخ بتاريخ يعود إلى قرابة مليون عام ماضٍ، وعاشوا فيما كان آنذاك أطراف جغرافيا انتشار أنواع البشرية. على نحو واضح، فلا بد أن Homo antecessor كان لهم أسلافٌ في مكانٍ ما في أفريقيا. ترك بعض الـ Homo antecessor فأسَ يدٍ قرنفلي اللون جميل من حجر المرو [الكوارتز] فوق كومة من الهياكل العظمية في كهف في شمال إسبانيا. وعلى نحو واضح، فنحن أحرارٌ في التخمين حول معنى هذا الفِعْلِ.



فأس أتابوريكا Atapuerca hand axe المعثور عليه في حفرة عمقها ١٤ مترًا في سلسلة جبال أتابوركيا الإسبانية

ومنذ حوالي ٥٠٠ ألف عام ماضٍ، وُجِدَتْ مجموعةٌ سكانيةٌ ربما تكون قد تحدَّرَت من Homo antecessor، وهي معروفة على أفضل نحوٍ من متحجرات في أورُبا الوسطى، وقد دُعِيَت باسم بشريِّي هِلْدِبِرْج Homo heidelbergensis. وعند حوالي ٤٠٠ ألف عام ماضٍ، كان بَشَرِيُّو هِلْدِبِرْج Homo heidelbergensis يصنعون رِمَاحَ صيدٍ مصنوعةً بإتقانٍ على نحوٍ رائعٍ في جِرْمانيا [ألمانيا]. لقد كانوا يَرْمُوْنَ رماحًا يصل طول الواحد منها إلى ٢, ٣ متر (١٠ أقدام) لتطير بزاوية عَبْرَ الهواء مثل الرماح الحديثة، وتترافق تلك الرماحُ مع متحجرات أحصنة مجزورة ومتحجرات عظام من أفيال وخراتيت وأيائل.





إعادتا بناء متصورَّتان لبشريّي هِلْدْبِرْجْ Homo heidelbergensis، نوع كان من الأقارب التطوريين لأسلاف البشر الحديثين

يبدو أن نوع بشريي هِلْدْبِرْجْ Homo heidelbergensis قد تطوَّر بدورِهِ إلى البشريين النَيْنْدِرْتَالِيِّينَ Neanderthals أو النِيَنْدِرِيِّن[1]، والذين يُدْعَوْنَ في العادة في عصرنا بالاسم العلمي Homo neanderthalensis. لقد كانوا متكيِّفين على نحوٍ قويٍّ للحياة في المناخات الباردة على طول أطراف سهول التَنْدْرَة tundra الثلجية من إسبانيا وحتى وسط آسيا.

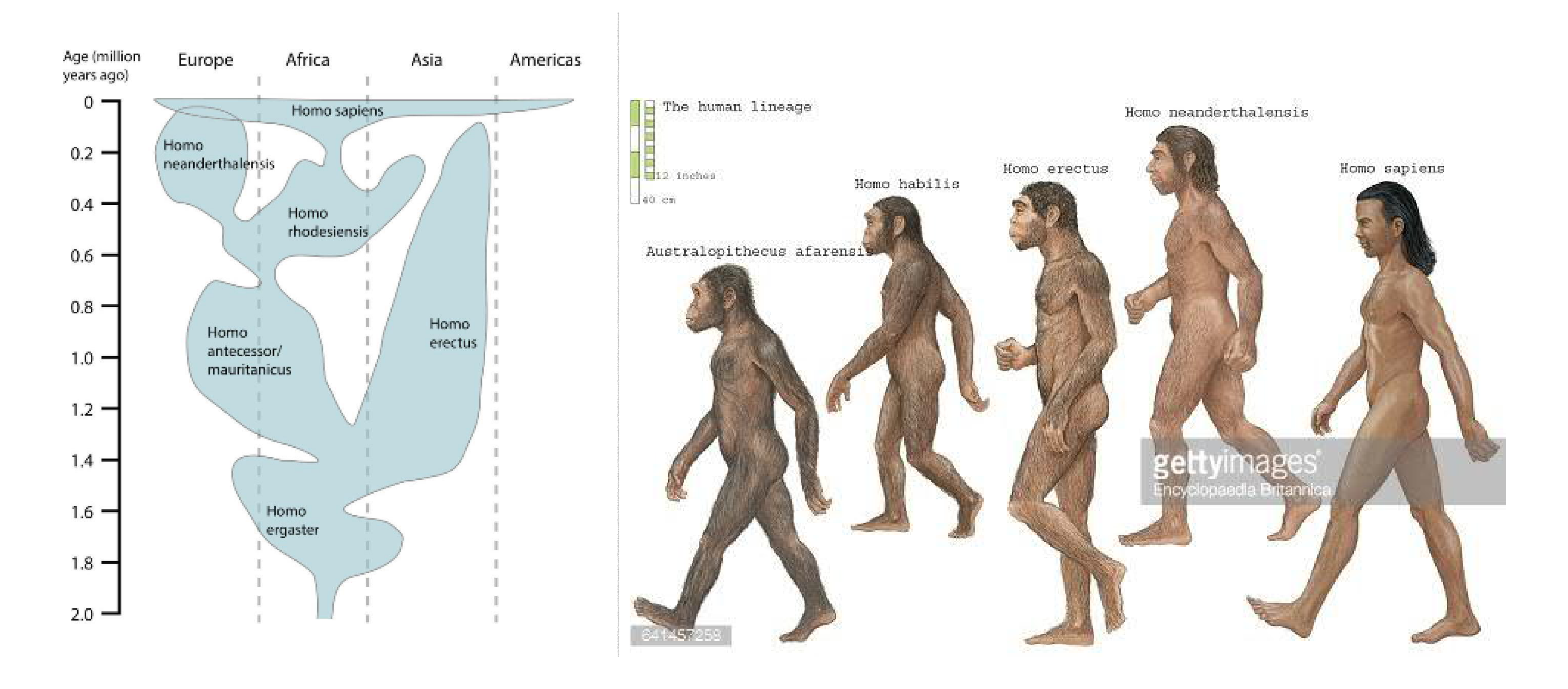
ليس لدينا سوى أدلة قليلة متناثرة من متحجرات أفريقيا التي تعود إلى ذلك الزمن، وإننا نفترِض أن Homo erectus البشريين المنتصبي القامة (أو البشريين العاملين ergaster، إن أردتَ القولَ) استمرُّوا في الازدهارِ في كل أنحاء تلك القارة. وفي أثناء ذلك، ازدهر Homo erectus في شرقيِّ آسيا، ولدينا متحجراتٌ لمجموعاتٍ سكانيةٍ من إندونيسيا (إنسان جاڤا أو جاوة) والصين (إنسان بكين) تعود إلى ما يتراوح بين مليون و ٥٠٠ ألف سنة ماضية.

نشأة وأصل الإنسان العاقل Homo sapiens

منذ بضع سنوات وحتى الآن، فإن قصة أغلبية العلماء هي أنه عند حوالي ٣٠٠ ألف سنة ماضية طوَّرَ نوعٌ من البشريين Homo الأفريقيين (erectus المنتصب القامة أو ergaster العامل أو heidelbergensis الهِلْدْبِرْجِيّ أو rhodesiensis بشري روديسيا أي زيمبابوي الحالية أو antecessor البشريين الرواد المستكشفين أو الرحالة أو archaic sapiens الإنسان العاقل العتيق الأوْلِيّ) (وقد استُعْمِلَت كل هذه الأسماءُ، ولذلك نحتاج عيِّناتٍ أكثر لنُحدِّدَ ما سندعوها به) تدريجيًّا نوعًا جديدًا من مميَّزًا من تكنولوجيا الأدوات الحجرية والتي ندعوها بتكنولوجيا العصر الحجري القديم الوسيط . وتدريجيًّا تطورت إحدى تلك المجموعات السكانية الأفريقية إلى بشر عاقلين حديثين modern Homo sapiens بالكامل.

لقد عُزِّزَتْ هذه القصة عندما وُصِفَتْ مجموعةٌ جديدة من المتحجرات من إثيوبيا في عام ٢٠٠٣. لقد تُعُرِّفَ على ثلاث متحجرات جماجم يعود تاريخها إلى حوالي ١٦٠ ألف عام ماضٍ على أنها لبشر عاقلين Homo sapiens. لقد كانوا لا يزالون يحتفظون ببعض السمات البدائية مثل بروزي حاجبي العينين الكبيرين اللذان كان سيُمَكّنانِنا من التعرف عليهم على أنهم "مختلفون" حتى لو كانوا يلبسون بناطيل جينز وتيشيرتات!، لذلك فقد دُعُوُا بالاسم العلمي Homo sapiens idaltu البشر العاقلين الأوَّلِيِّين أو العتيقين، كنُوَيْعٍ فرعيٍّ مستقلٍّ. كانت نوعية أدواتهم تقع ما بين الحد بين أدوات العصر الحجري القديم الوسيط والأدوات الأتشيوليَّة Acheulean. كان ذلك الزمن في وسط عصر جليدي شديد البرودة، عندما كانت المجموعات السكانية الأخرى لأنواع البشريين Homo خارج المناطق الاستوائية قد تعرضت للضغوط وتشظَّتْ. يبدو أن الإنسان العاقل Homo sapiens امتلَكَ بَعْضَ السماتِ أو سمةً ما مَكَّنَتْهُ من التوسع والانتشار والتنافس بفاعلية ضد أنواع البشريين Homo الأخرى.

[1] النِينِدَرْتالِيّون: منسوبون إلى أول مكان عُثِر على متحجرة لأحدهم فيه، و نِيَنْدِر Neanderهي منطقةوادٍ بغرب جرمانيا، وقد استوطن النيندرتاليون كثيرًا من نواحي أورُبا وآسيا، من إسبانيا وحتى العراق ووسط آسيا.



في أثناء آخر عصر دافئ واقع بين عصرين جليديين (منذ حوالي ١٢٠ ألف سنة) وُجِدَ البشر الحديثون Homo sapiens في جمهورية جنوب أفريقيا. وفي زمن ما بعد ذلك، هاجرت مجموعة سكانية صغيرة من البشر العاقلين Homo sapiens الرُوَّاد أو اللاجئين لأول مرة من أفريقيا وانتشروا في كل أنحاء العالم القديم، ويفترَض أن ذلك كان من خلال العبور عبر الشرق الأوسط وشبه الجزيرة العربية اللتين لم تكونا صحراء قاسية رهيبة مثلما هي في العصر الحالي. ربما اجتاز البشر الحديثون حول سواحل المحيط الهندي إلى جنوبي آسيا، لكنهم كانوا على نحوٍ واضحٍ غير قادرين بعدُ على إزاحة الأنواع الأخرى من البشريين بسهولة. كان Homo neanderthalensis البشريُّون النَيَنْدِرْتاليّون أو النَيَنْدِرِيُّون مترسِّخين بثبات في المناطق الباردة في أورُبا وغربيِّ آسيا، و Homo erectus في شرقيِّ آسيا. عندما انتهى العصر الدافئ الواقع ما بين العصرين الجليديين وتغير المناخ إلى البرودة مجدَّدًا، أعاد البشريُّون النِيَنْدِرْتالِيُّون Neanderthals سكنى الشرق الأوسط عند زمن حوالي ٧٠ ألف عامٍ ماضٍ، حالِّين محلَّ البشرَ الحديثين.

كل هذا تغيَّرَ، بدءًا من حوالي ٤٥ ألف عام ماضٍ. كان البشر الحديثون آنذاكَ قد أبادوا وأزاحوا كل أنواع البشريين المنافسة من العالَم القديم؛ النِيَنْدِرتاليّين Neanderthals من أورُبا، والبشريين المنتصبي القامة Homo erectus من آسيا. لقد كان هذا تنافسًا هائلًا كاسحًا، ربما حتى تطهيرًا عِرقِيًّا [إبادة]. يوحي سجل المتحجرات بأنه لم يكن هناك ناجون. وقد استعمر البشر العاقلون Homo sapiens أيضًا وانتشوا في أجزاء من العالم لم يقطنها فيما سبق أيُّ جنسٍ من البشريين Homo؛ أستراليا والأمرِكَتين والجزر البولينزية. بالتالي فكل البشر الأحياء المعاصرين قد تَحَدَّرُوا من مجموعة سكانية أصلية من البشر العاقلين H. sapiens لا بد أنها كانت مجموعة صغيرة العدد نسبيًّا.

هذا السيناريو الأساسي يُتجادَل عليه بشدة، وهذه مسألة مهمة. لا يزال القليلُ من علماء الأجناس البشرية [الأنثروبولُجِيّن] يجادِلون بأن نوعًا البشريين المنتصبي القامة Homo erectus المنتشرين على نحو واسع تطوروا إلى البشر العاقلين Homo sapiens المنتشرين عبر أنحاء العالم القديم، وأن الأسماء الأخرى تمثِّل ببساطةٍ أنواعًا فرعية أي: نُوَيعات أو تنوعات لا تعني عدم قدرة على التهاجن. لقد كانت هناك ادعاءآت عن حلقات انتقالية بين erectus و sapiens في إندونيسيا والصين وأفريقيا والشرق الأوسط[1].

إن كل تلك الأحداث السالفة السرد حديثة الزمن للغاية لدرجة أن تأثيراتها لا يزال يمكن رؤيتها في جينات البشر العاقلين Homo sapiens وتفسيرها منها. وهذه البيانات الجينية تدعم على نحوٍ كاسحٍ غامر نموذجَ [أيْ فرضيةَ] الخروج من أفريقيا. وحتى لو كانت ساعات الطفرات الوراثية لا تجري على نحو دقيق، فإن القصة لن تتغيَّرَ، بل ستتغيَّر التواريخُ فقط.

[1] كان الصينيونمن أكثر من أيَّدوا قديمًا فكرة تطور النويعات البشرية الحالية على نحو مستقل من مجموعات متفرقة من البشريين المنتصبين القامة erectus، لكن مع تقدم الصين والعلم فيها يعترف العلماء الصينيون اليوم بخطإ هذه الفرضية القومية الشوفينية القديمة، حيث تثبت الدراسات الجينية على العكس من ذلك سيناريو الخروج من أفريقيا إلى كل نواحي العالم، وكذلك لو كانت الفرضية البديلة قد حدثت لما كانا كبشر جنسًا واحدًا يستطيع أنواعه الفرعية التزاوج مع بعضها البعض والإنجاب- المترجم.

يُظْهِرُ DNA البشر الأحياء المعاصرين انقسامًا مميَّزًا واضحًا إلى أنماط أفريقية وغير أفريقية. علاوةً على ذلك، فإن التباين في DNA البشر الحديثين محدود جدًّا. إن مجموعة واحدة متزاوجة من الشيمبانزيَات في الـ Taï [مدينة في جنوبي شرق ساحل العاج] في أفريقيا لها تباين جيني أكثر من الذي لدى كل الجنس البشري في العصر الحالي. هذا يوحي على نحو قوي جدًّا بأنَّ كلَّ البشرِ الحديثين تحدَّروا من مجموعة سكانية لأسلافهم لم تكن فقط صغيرة العدد _حوالي عشرة آلاف أو نحو ذلك_ بل صغيرة العدد ولزمن طويل.

لو كان هذا التقدير صحيحًا، فلا سبيل لأنْ يمكن لعشرة آلاف إنسان أن يتكاثروا ويسكنوا أكثر من منطقة صغيرة نسبيًّا، حتى لو كانوا صيادين وجامعي طعام مترحِّلين. إن الاستنتاج الوحيد الممكن (لو أن الافتراضات والحسبات صحيحة) هو أن كل البشر الأحياء المعاصرين بالفعل قد تحدَّرُوا على نحو حصريٍّ من مجموعة سكانية سلفية من البشر العاقلين Homo sapiens الذين تطوَّرُوا في منطقة محدودة في أفريقيا، وانتشروا من هناك إلى كل أنحاء العالم القديم.

الاختلاف القائم الباقي في العصر الحالي بين الـ DNA "الأفريقي" والـ DNA "الغير أفريقي" يمكن تفسيره لو أن مجموعةً سكانيةً صغيرةَ العدد مؤسِّسة غادرَتْ أفريقيا، حاملةً معها عينة صغيرة فقط من التباين الجيني الذي كان قد تطور قبل ذلك الزمن في أنحاء أفريقيا. انتشرت وتوسعت هذه المجموعة السكانية المؤسِّسة حيث سكنَتْ قارةَ أوراسيا، ناميةً إلى مجموعات سكانية كبيرة ذات بنْيَةِ DNA غير أفريقي على نحو واضح مميَّز. ومرة أخرى، عبرت مجموعة أصغر فرعية من بشرٍ شرق آسيا مضيقَ بيرِنج Bering Strait[1] واستعمروا [زوَّدوا بالسكَّان] الأمرِكتين ببشرٍ ذوي تباين جيني أقل (كما هو معروف عن السكان الأصليين للأمركتين).

أُيِّدَ هذا السيناريو لأول مرةٍ في أواخر ثمانينيَّات القرن العشرين (١٩٨٠ات)، عندما سُمِّيَ بفرضية "حواء" الميتوكندريَّة أو الخروج من أفريقيا. التقديم الأول لهذه الفرضية كان به عيوب لأنه كان يقوم على استعمال رديء لبرنامج كمبيوتري عالج البيانات، لكن في العصر الحالي دُعِمَتْ بقوةٍ بكميات هائلة من البيانات الجديدة. تتضمن الأسئلة المُلِحَّة التوقيتات الزمنية وماهية ما حدث للمجموعات السكانية الأخرى الخاصة بالبشريين في باقي أنحاء العالم القديم.

البشريون النِيَنْدَرْتاليون Neanderthals

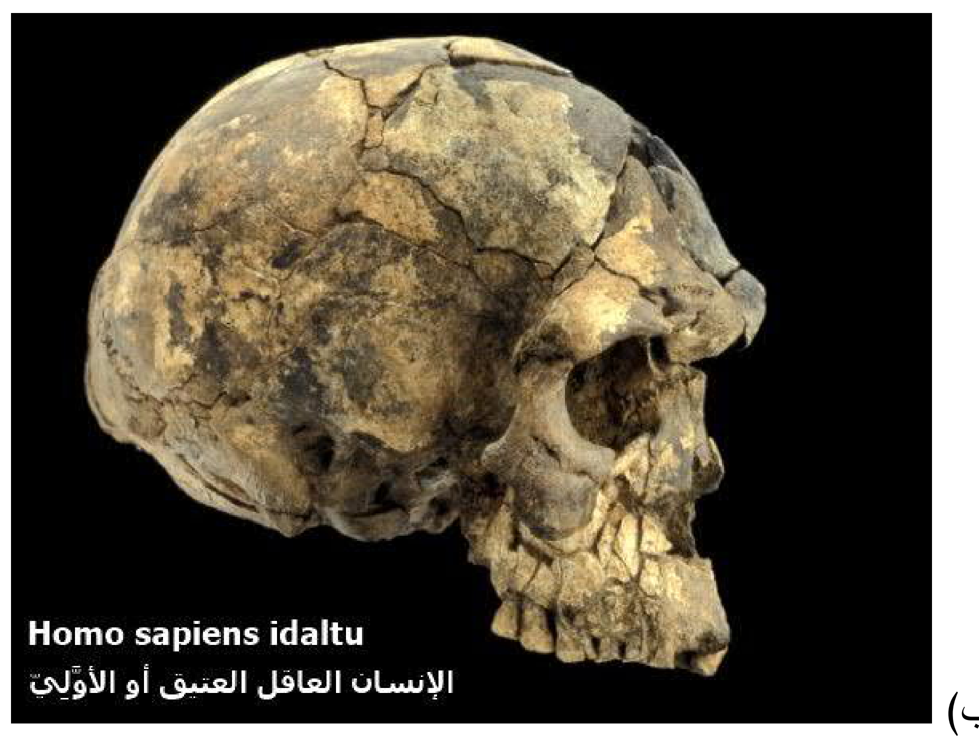
البشر الذين نسميهم النِيَنْدِرتاليّين Neanderthals[٢] عاشوا فيما بين ٩٠ إلى ٣٠ ألف عام ماضٍ في أورُبا وعلى طول المنحدرات الجبلية على الحواف الشمالية للشرق الأوسط، وصولًا حتى العراق. لقد سُمُّوا على اسم موقع أول اكتشاف لمتحجرات لهم في وادي نِيَنْدِر Neander في جرمانيا [ألمانيا]. كان للنِيَنْدِرتاليّين Neanderthals طريقةُ حياةٍ معقَّدةٍ من جهةِ مواقع حياتهم وأدواتهم وسلوكياتهم.
يختلف النِيَنْدِرْتاليُّونَ عن البشر الأحياء في امتلاكهم وجوهًا كبيرةٍ ذوات أنوف كبيرةٍ، وأسنان أمامية (قوادم) كبيرة، وذقن صغيرة أو بلا ذقن (الصور ٢٠ – ١٢). هذه السمات مترابطة ببعضها؛ فقوادم أسنان النيندرتاليين تُظْهِرُ بَلَىً [تآكُلًا] شديدًا، كما لو أنهم استعملوا قواطعهم على شيء يتطلب ضغطًا قويًّا مستمرًّا (ربما يُلَيِّنون جلودًا بالمضغ، مثلما يفعل ناس الإنيُوِتْ [الإسكيمو] من بني جنسنا؟). إن وجوه البشر مرنة، وخاصة في النمو المبكر، وسواء من خلال الاستعمال أو التثبيت الجيني (الوراثس)، يبدو أن المضغ بالقوادم الأمامية للنيندرتاليين قد شجَّعَ على نمو العظام الوجهية لتدعم الأسنانَ القوادمَ في مقابل الجمجمةِ. كانت المنطقة الأنفية لهم تتجه على نحو جوهري إلى الخارج من الوجه، بالتالي كانت الأنف أكبر بكثير وأكثر بروزًا مما هي عليه في معظم أنواع البشريين والبشرانيين hominids. كان مخ النيندرتالي يترواح حجمه ما بين ١٤٥٠ على ١٥٠٠ سم مكعب، فكان على الأقل مساويًا لحجم الخاص بالبشر الأحياء الحديثين وأحيانًا أكبر. إحدى السمات المميّزة الخاصة الأخرى للنِيَنْدِرْتاليين هي جسد مربوع [قصير ممتلئ] قوي جدًّا ذي عظام غليظة قوية، وربما ساعدت هذه البنيةُ على الحفاظ على حرارة الجسد في مناخٍ باردٍ و/ أو أنها تعكس وتدل على نمط حياة كان يتطلَّب قوة جسدية كبيرة. توجد معظم متحجرات النِيَنْدِرْتاليين في رواسب وُضِعَتْ في أثناء المناخات القاسية الخاصة بالعصر الجليدي قبل الأخير.

---

[1] مضيق بيرنغ يفصل بين قارة آسيا وقارة أمريكا الشمالية، تحديداً بين رأس ديجنيف في روسيا، ورأس أمير بلاد الغال في ألاسكا، وهو يصل بين بحر برينغ والمحيط المتجمد الشمالي
[2] أو وفق قواعد النسب في اللغةالعربية النِيَنْدَرْيِّين لأنه منسوب إلى وادي نِيَنْدِرْ Neander الجرماني ونهجره لتفضيل الاسم الأشهر والعالمي العلمي المعروف.



(أ)

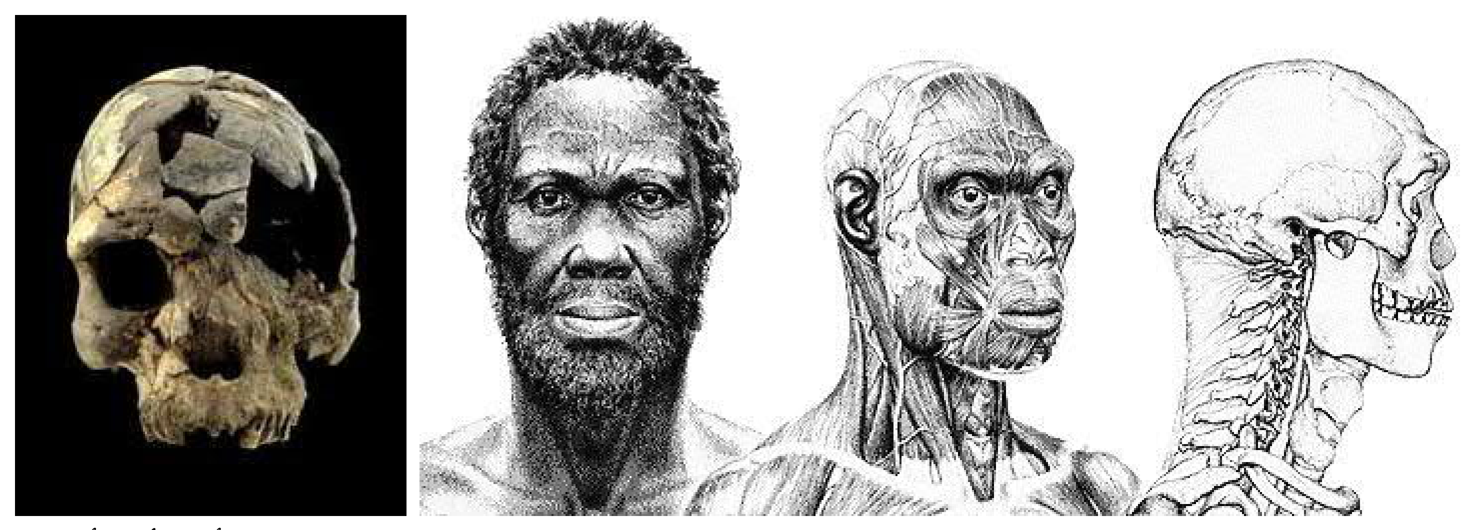


(ب)

الصورة ٢٠- ١٢ (أ) متحجرة جمجمة بشريٍّ نِيَنْدِرْتاليٍّ. (ب) متحجرة جمجمة للإنسان العاقل العتيق Homo sapiens idaltu، من إثيوبيا، وهي أقدم جمجمة مكتشَفة منسوبة إلى نوع الإنسان العاقل Homo sapiens حتى الآنً، وتؤرَّخ بحوالي ١٦٠ ألف عام ماضٍ.



جمجمة نيندرتالي وجمجمة إنسان متدبر حديث من حضارة الكروماجْنِنْ



Homo sapiens idaltu الإنسان الحديث النوع الفرعي العتيق منه، ومعنى إدالتوا باللهجة العفارية الإثيوبية أي الأكبر أو البكر.

صُنِعَتْ معظمُ أدواتِ النِيَنْدِرتاليّينَ بنمطٍ يُعْرَف بالمَسْتِيرِيّ Mousterian. وهي تتضمَّنُ كواشطَ ورؤوسَ رماحٍ وأدواتِ تقطيعٍ وثقبٍ (الصورة ٢٠– ١٣) مصنوعة بعناية من رقاقات مقتَطَّعة ومكسَّرة بعناية من ألباب الصخور. توحي علاماتٌ على أسنان النِيَنْدِرتاليّينَ بأنهم كانوا ينتزعون أوتار الحيوانات لعمل ألياف مفيدة منها من خلال قطعها بتمريرها على أسنانهم المصرور عليها بإحكام بفكوكهم، على نحو مشابه تمامًا لما يفعله الأستراليون الأصليَّون البدائيَّون في العصر الحالي. ولعل أكثر اللقايا النِيَنْدِرتاليَّة المنوِّرة لنا بالمعرفة عنهم هي مدافنهم الشعائرية. لقد دُفِنَتْ الأجساد بعنايةٍ، مع قرابينٍ للقبرِ من أدواتٍ وطعامٍ. لقد دُفِنَتْ كمياتٌ هائلةٌ من حُبَيْبَاتِ اللقاح مع جثمان المتحجرة المسماة باسم Shanidar IV [المدفن النيندرتالي رقم ٤ في كهف شانِدَرْ في محافظة إربيل العراقية، ويقع على سلسلة جبال نواخين أو برادوست، ويُعرف بمدفن الزهور]، وهو رجلٌ نِيَنْدِرْتاليٌّ مدفونٌ في العراق. لقد أتت حبيبات اللقاح من سبع أنواع من النباتات على وجه التحديد. كلها لها زهور ملوَّنة على نحوٍ وضيءٍ، وكلها تُزْهِر معًا في تلك المنطقة في آخر شهر أبريل، وكلها لها خصائص طبيَّة قويَّة. يصعب تجنُّب الاستنتاجِ بأنَّ Shanidar IV (شانِدَرْ ٤) دُفِنَ مع أكاليلٍ من الأعشاب الشافية المختارة بعناية من زهور أوائل الصيف، مما يوحي باهتمام شديد وعاطفي بالعالَم المجرَّد.



Shanidar IV (شانِدَرْ ٤)





الصورة ٢٠– ١٣ أدوات نِيَنْدِرْتاليَّة من النَمط المَسْتِيرِيّ Mousterian

صار النِيَنْدِرتاليُّون Neanderthals متكيِّفين مع الحياة في المناخ البارد على طول حواف الصفائح الثلجية[1] من غربيّ أورُبا حتى آسيا الوسطى، بتطوُّرِ سمات خاصة بهم. وكلما انعزلوا جغرافيًّا صاروا صارت سماتهم النِيَنْدِرْتاليَّة أكثر شدةً وقصوى، حتى صاروا مختلفي الشكل على نحو واضح عن المجموعات السكانية لكلٍّ من نوع بشريّي هِلْدْبِرْجُ Homo heidelbergensis والإنسان الحكيم أو المتدبِّر Homo sapiens (نوعنا) التي كانت تتطوَّرُ في أفريقيا[2].

يبدو أن النِيَنْدِرتاليين في الشرق الأوسط تعاقبوا وتبادلوا التواجد مع البشر المتدبِّرين Homo sapiens (نوعنا)، مع تقلُّبٍ في الحدِّ بينهم. كِلا نوعَي البشريّينَ في تلك المنطقة كان يصنع نفسَ الأدوات المَسْتيريَّة النوع Mousterian، والتي وُجِدَت وتُعُرِّفَ عليها وصولًا إلى السودان في البُعْدِ، وقد عُثِر حاليًّا مؤخَّرًا على متحجرات جماجم وهياكل وسطى بينهما في رومانيا والبرتغال، مما يوحي بأنهما تهاجنا مع بعض البشر الأورُبيين وهو ما أثبته حاليًّا علم الجينات القديمة الجديد. عاش النِيَنْدِرْتاليُّون في الشرق الأوسط في الأزمنة التي كان فيها أبرد وأكثر رطوبةً، بينما عاش البشر المتدبِّرون Homo sapiens فيه في الأزمنة الأكثر دفأً وجفافًا. كلٌّ منهما كان ملائمًا لنطاقٍ مناخيٍّ مُعيَّنٍ لم يكن يستطيع الآخَر منهما المنافَسةَ فيه؛ فلم يكن أيٌّ منهما "متفوِّقًا" خلال عشرات آلاف السنوات.

اندثر النِيَنْدِرتاليُّون Neanderthals من الشرق الأوسط منذ حوالي ٤٥ ألف عام ماضٍ، ثم من شرقيّ ووسط أورُبا، وأخيرًا من شماليّ غرب أورُبا (فرانس وإسبانيا). كان آخر النِيَنْدِرتاليِّين الباقين على قيد الحياة صمودًا في نجود فرانس حتى حوالي ٣٨ ألف عام ماضٍ، وفي جنوب إسبانيا والبرتغال حتى حوالي ٣٠ ألف عام ماضٍ.

تحتوي المواقع النِيَنْدِرتالية الأورُبية في العادة على أدوات أقل توحدًا في النمط، مصنوعة من الصخور وحجر الصوّان، لكن أواخر النِيَنْدِرْتاليّين في غربيّ أورُبا أظهروا ثقافة أكثر تقدمًا على نحو مُمَيَّز. تُدعى أدواتهم بالشيتِلبيرونيَّة Châtelperronian. تُظْهِرُ تلك الأدواتُ أدلة واضحة على النمط المَسْتيري Mousterian القديم فيها، لكنها أيضًا بها بعض التشابهات مع نمط الأدوات الأوريجْناكِيَّة Aurignacian التي كان البشر الحديثون تمامًا الذين وصلوا مؤخرًا حديثًا آنذاكَ (ناس حضارة الكُرُومَاجْنِنْ CroMagnon) يصنعونها ويستعلمونها في نفس الزمن في أورُبا الغربيَّة. تحتوي أواخر مواقع النِيَنْدِرتاليين زمنيًّا في فرانسْ أيضًا على حُلِيٍّ، وإنه لمن المغري اقتراح أن النِيَنْدِرْتاليّين ربما قلَّدوا ونسخوا بعض تكنولوجيا وفنون ناس الكروماجْنِنْ[3].



أدوات شيتِلبيرونيَّة Châtelperronian

[1] صفحة أو غطاء أو صفيحة جليد، فرشة جليد: نوع من الجليد المتراكم(تساقط الثلج المنتشر على نحو منتظم فوق سطح اليابسة، وهو عبارة عن مثلجة أو غطاء غليظ نسبيًا من الجليد على الأرض اليابسة.

[2] يجب التنبيه إلى أني اضطررت لتعديل وتحريف هذه الفقرة وما يليها كمترجم بناءً على معطيات علم الجينات القديمة الحديث الذي تمكن من إثبات حدوث تزاوج للبشر الأوربيين والآسيوين مع بشريي النيندرتال على نحو يقينيٍّ وأن بعض البشر يحملون جينات نيندرتالية، كل البشر عدا الذين تحت الصحراء الكبرى الأفريقية في العموم يحملون جينات نِيَنْدِرتالية لأنهم كلهم يحملون بعضًا ممن جينات آسيوية أو أوربية مختلطة بها، بما فيهم العرب والشمالي أفريقيون. وما عدَّلته ملون بالأحمر، لكن لا يظهر ما حذفته. وسأترجم قريًبا وتاليًا كتاب (الأسلاف في جينومنا، العلم الجديد للتطور البشري) Eugene E. Harris, Ancestors in Our Genome-The New Science of Human Evolution لأهمية هذا الموضوع. كنت أود الاطلاع على الإصدار الخامس من هذا الكتاب الحالي لأرى مدى تغيير المؤلف لمحتوى هذا الجزء من عدمه- المترجم.

[3] حضارة منسوبة إلى أول مكان اكتشفت فيه آثارها وهو Abri de Cro-Magnon في جنوبي فرانس، وماجنِنْ اسم صاحب الأرض المكتشف فيها، ومعنى أبري دي كرو يعني كهف الملجأ الصخري.



بعض أدوات حضارة الكروماجْنِنْ من أقدم الحضارات والمصنوعات الخاصة بنوعنا

هذا الاقتراح محل جدال، لأن مصنوعات النِيَنْدِرْتاليّينَ لم يُعثَر عليها في مواقع بشر حضارة الكروماجْنِنْ CroMagnon، ولا العكس. يعتقد بعضُ الأنثروبولُجِيّينَ أن أواخر النِيَنْدِرْتاليّين طوَّروا ثقافتَهم المتقدِّمةَ الخاصةَ بهم قبل اندثارهم بالضبط. (ربما بنفس الطريقة التي كان يطوِّر بها شعبا الأزتِك والإنكا أنظمةً سياسيةً جديدةً قبل وصول المستعمِرين الإسبانيين).

تواجد النِيَنْدِرْتاليُّون Neanderthals وبشر حضارة الكروماجْنِنْ CroMagnon سويًّا في أورُبا لعشرة آلاف عام أو نحو ذلك، وهي فترةٍ طويلة جدًّا من الناحية التاريخية. وتقترح الأدلة الجديدة الحديثة من علم الجينات القديمة حدوث تزاوج [تهاجن] بين المجموعتين، بالتالي فإن النِيَنْدرتاليّين كانوا نوعًا فرعيًّا من البشر المتدبِّرين (نوعنا) أو نوعًا مقاربًا جدًّا بحيث أمكنه التهاجن معهم.

وبينما كنت أكتب هذا الفصل في عام ٢٠٠٥م، يوحي دليل حفري جديد على أنه قد كان هناك تهاجن بين البشر المتدبرين Homo sapiens والبشر النِيَنْدِرْتاليّين. فقدْ عُثِر على جمجمة بشرية مبكرة للغاية في رومانيا، والتي كانت مبكرة على نحوٍ كافٍ لأنْ تكون صاحبتها قد عاصرت النِيَنْدِرْتاليّين. ومن ضمن السمات التي تحملها تلك الجمجمة والمشابهة للصفات النِيَنْدِرتاليَّة هي أن ضروسها كانت كبيرة على نحو مدهش (الصورة ٢٠ –١٤). لقد كانت أكبر حجمًا من أي أسنان لبشر متدبر [حكيم، نوعنا] sapiens مكتشَفة على الإطلاق، حوالي متوسط حجم ضروس النِيَنْدِرْتاليّين. وقد كان هجينًا كما يتضح، وكما أكد علم الجينات القديمة الحديث في عام ٢٠١٠م.



الصورة ٢٠ –١٤ متحجرة فك سفلي لأنثى إنسان متدبر sapiens هجينة بين الإنسان المتدبر نوعنا ونوع النِيَنْدِرْتاليّين Neanderthals من رومانيا، من بلدة Gorj، من الكهف الذي صار يُعْرَفُ بكهف المرأة العتيقة أو Muierii Peştera، قديمة على نحوٍ كافٍ (حوالي ٣٥ ألف سنة ماضية) لتدل على تواجد صاحبها بجوار النِيَنِدِرتاليّين الأحياء آنذاك. إن ضروسه كبيرة على نحوٍ مدهشٍ، بحجم ضروس النِيَنْدِرْتاليّين إن تحدَّثْنا بوضوحٍ.

كان بشر حضارةِ الكروماجْنِنْ والنِيَنْدِرْتاليون مختلفين اجتماعيًّا تمامًا. لا تتوفر فحسب الأدلة على الفن والرمزية؛ فمن المؤكد أن بشر حضارة الكروماجْنِنْ كانوا صيادي طرائد كبيرة الحجم أفضل. ويجادل بعض العلماء بأن بشر حضارة الكروماجْنِنْ امتلكوا لغةً، بينما لم يمتلك النِيَنْدِرْتاليون. لكن ساكني كاليفورنيا الأمِركِية يختلفون اجتماعيًّا تمامًا عن شعب بابُوا نيو جينيا؛ لكن هذا لا يدل على أيّ اختلافٍ جينيّ. نحتاج تفسيرًا أفضل لماهية التفوق والأفضلية التي امتلكها ولا يزال البشر المتدبِّرون Homo sapiens؟ أكانت نوعية الأسلحة؟ أم الترابط الاجتماعي؟ إنها لم تكن اللغة (بالمعنى الدقيق المتعارف عليه لها)، حيث أن النِيَنْدِرْتاليين استطاعوا الكلامَ بالتأكيد.

عندما استطاع بشر حضارة الكروماجْنِنْ دخول شبه الجزيرة القاريَّة الأورُبيَّة التي كانت محرَّمة عليهم بفعل البرودة، كانوا مجرد مجموعة سكانية محليّة على الحافة الشماليّ غربيَّةٍ من الجغرافيا المعمورة بنوع البشر، لكنهم مهمون لأنهم خلَّفوا وراءهم أفضل المتحجرات والأدوات والمصنوعات الفنية دراسةً من جانبنا من عمق آخر عصر جليدي (الصورة ٢٠ –١٥).



الصورة ٢٠– ١٥ رسومات لماموث ذي فرو وخرتيت ثنائي القرون ذي فرو، من رسم فنانين مجهولين من حضارة الكروماجْنِنْ

اكتُشَفَ في مواقع حضارة الكروماجْنِنْ فنٌّ ومجموعاتٌ من الأدوات أغنى وأكثر تعقيدًا، وأبنيةٌ ومدافِنُ أكثرُ تعقيدًا من الخاصة بالنِيَنْدِرْتاليِّينَ. وعلى وجه الخصوص، فقد صنع أطرافًا أو أنصالًا حجريَّة مستدِقَّة الطرف للمقذوفات كالسهام والرماح. ربما صنع النِيَنْدِرْتاليُّونَ سهامًا ورماحًا، لكن لو كان قد فعلوا ذلك فإنها لم تكن ذات أطرافٍ مستدِقَّةٍ حجريَّةٍ. كانت تتمثَّل الأدواتُ المَسْتيرِيَّةُ Mousterian النِيَنْدِرْتاليَّة في معظمها من أعمال خشبية أكثر من أدوات الكروماجْنِنْ، الذين علموا أكثر في العظام وقرون الأيائل والظباء والوعول والحجارة.

ترك بشرُ حضارةِ الكروماجْنِنْ _ومعاصروهم في أورُبا الشرقية الجْرَفِتِيِّون Gravettians_ أدلةً على قدرة على تدمير المواطن البيئية [وأشكال الحياة فيها] والتي هي خاصة بالبشر الحديثين في نمطها على نحو تقليدي. فمن روسيا إلى فرانْسْ تحتوي مواقعُ على متحجرات بقايا آلاف الأحصنة ومئات أفيال الماموث ذوات الصوف. بشر حضارة الكروماجْنِنْ هم أيضًا من رسموا رسوم الكهوف الرائعة لحيوانات عصر الجليد المنقرِضة، والتي رسمها بشرٌ رأَوْها وهي حية (الصورة ٢٠ –١٥)، وصنعوا واستعملوا فلوتات [أو مزامير] عظمية. كان الكروماجْنِنِيّنَ يرسمون على جدران الكهوف عند زمن ٣٠ ألف عامٍ ماضٍ، وكان الـ Gravettians يطهون تماثيل صغيرة طينية في أفرانٍ منذ أكثر من ٢٥ ألف عام ماضٍ. كان للكروماجْنِنِيّنَ ومعاصريهم من البشر تأثيرٌ إيكولُجِيٌّ هائل على العالَم (انظر الفصل ٢١).



أدوات وصنم لإلهة أنثى من صنع الجْرَفِتِيِّين Gravettians (أدواتهم منسوبة لأول مكان اكتُشِفَتْ فيه في la Gravette في جنوبي غرب فرانس)

إذَنْ، فهل نوع الإنسان المتدبِّر Homo sapiens في مجمله مدان جريمة الإبادة العِرْقِيَّة؟ لقد اندثرت كل أنواع جنس البشريين Homo الأخرى. لا يُرَجَّحُ أن كارثةً طبيعيةً ما أضرَّتْ بجنس البشريين Homo ولم تضر بباقي القرود العديمي الذيل الباقين على قيد الحياة. إنه من المرجَّحِ أكثرَ بكثيرٍ أنَّ فروعَ السلالة التطورية البشرية الأخرى قد قُلِّمَت [قُطِعَت، أبيدَت] على يد بشريين آخَرين.

ربما لا يكون الارتحال مع التطهير العِرْقي للأنواع الأخرى هو تصور المرء المفضَّل للجنس البشري (نوعنا)، لكنْ علينا التعامل مع الأدلة. يقينًا حدثَتْ الإبادات العرقية في الماضي (اقرأ الكتاب المقدس أو الجرائد)[1]. تخطر على ذهني أحداث في سيراليون وفي ليبِرْيا بينما أكتبُ، لكن لا ينغي أن تُنسى أحداث بوسنيا [البوسنة] ورُوانْدا وكُرْدِسْتانْ وأوجَنْدا والكونجو وجرمانيا النازيَّة أيضًا، وإن تاريخ أي قارَّة به أمثلة رهيبة. وضمن الذاكرة الحية، كان الفلاحون الآكلون للحوم البشر في بابْوا نيو جينيا يسعَوْنَ لإبادة كل أفراد مجتمَعٍ مستهدَفٍ، لأن الناجين على الأرجح سينتقمون.

التطور في البشر في العصر الحالي

بالنظر إلى البيئات البيولُجِيَّة والإيكولُجِيَّة المختلفة على نحوٍ واسع الخاصة بأنواع جنس البشريين Homo منذ ٢,٤ مليون سنة ماضية، فيُرَجَّحُ أنَّ الضغوط الانتخابيَّة على الأجزاء التركيبية الطرية والسلوك كانت شديدة مثلما كانت على سمات الهياكل العظمية. كمثال؛ توجد أدلة واضحة ضمن البشر

---

[1] أو كتب سيرة محمد كالمغازي للواقدي والسيرة لابن هشام وتعاليم القرآن وكتب التاريخ الإسلامي. ومن الأمثلة المهمة التي لم يذكرها المؤلف إسرائيل، وحروب لبنان الأهلية منذ قرون وحتى الثمانينيات، ومذبحة صبرا وشاتيلا ضد الفلسطينيين على يد المارونيين المسيحيين مثلا، والمذابح ضد المسيحيين ولا سيما إبادة الأرمن على يد الأتراك قديمًا، وكامل تاريخ الاحتلالات الإسلامية المعروفة بالفتوح أو الفتوحات ومن أشنعها احتلال فارس وباكستان والهند ودول المغرب العربي، والحروب الصليبية على العالم العربي والشرقي، والحملات البابوية الصليبية الإجرامية على الكاثاريين والبروتستنت، والإبادات المتبادلة والحروب القديمة بين الكاثوليك والبروتستنت قبل حلول العصر العلوم والتنوير والعلمانية والإنسانية في الغرب– المترجم.

الأحياء على التطور الإقليمي للتلاؤمِ مع بيئة مُعَيَّنَةٍ أو أخرى، وترتبط بعضُ سمات التراكيب الطرية ومناسيب الجسد وحتى أجزاءٌ من الجينوم الميتوكندريِّ mitochondrial genome[1] بقوَّةٍ بالمناخ في الكثير من المجموعات البشرية. يرتبط شكل الأنف بشدى بنسبة الرطوبة. إن ناس الإنيُوِتْ [الإسكيمو] مكتنِزون (باطنيُّو البنية endomorphic) لمقاومة تبرُّدِ الجسد. لقد تكيف البشر الذين يعيشون على ارتفاعات عالية في آسيا وإثيوبيا وأمِرِكا الجنوبية فسيولُجِيًّا مع مستويات الأُكْسُجِنْ المنخفضة. إن بشر الأماكن الاستوائية نحيلون للغاية في المعظم وغامقو البشرة، بينما يكون البشر [المتوطِّنون] فاتحي البشرة بلون قرمزي في شماليِّ أورُبا، وهكذا. يتباين حجم الخصيتين بين المجموعات البشرية على نحو ملحوظ، وكذلك معدل ولادة التوائم.

لا بد أن تلك السمات قد تطوَّرَت تحت ضغط انتخاب إقليمي شديد، متضافرًا مع الانتشار والامتزاج البطيء للجينات في زمنٍ لم تستطع فيه المجموعات البشرية السفر لمسافات كبيرة. تتضاءل تلك الاختلافات على نحو واضح في مجموعات سكانية حديثة مُعَيَّنة (يخطر على الذهن هاواي والبرازيل وكاليفورنيا ولندن).

لا يمكن التعرف على وتقييم تطور السلوكيَّات على نحوٍ جيدٍ من خلال سجل المتحجرات، لكن التنوع في البنية الاجتماعية ضمن أنواعِ القرود الأشبه بالبشر hominoid كبير جدًّا ويقترح تطورًا سلوكيًّا جذريًّا، على الأقل خلال آخر ١٠ ملايين سنة. تقترح البحوث الجديدة على أنماط التزاوج أن الكثير من التشريح والسلوك الجنسي البشري ربما يكون مرتبطًا بالتقدم التطوري الذي بدأ مع البشريين Homo المبكِّرين واستعمال الأدوات لتحقيق الهيمنة الإيكولُجِيَّة.

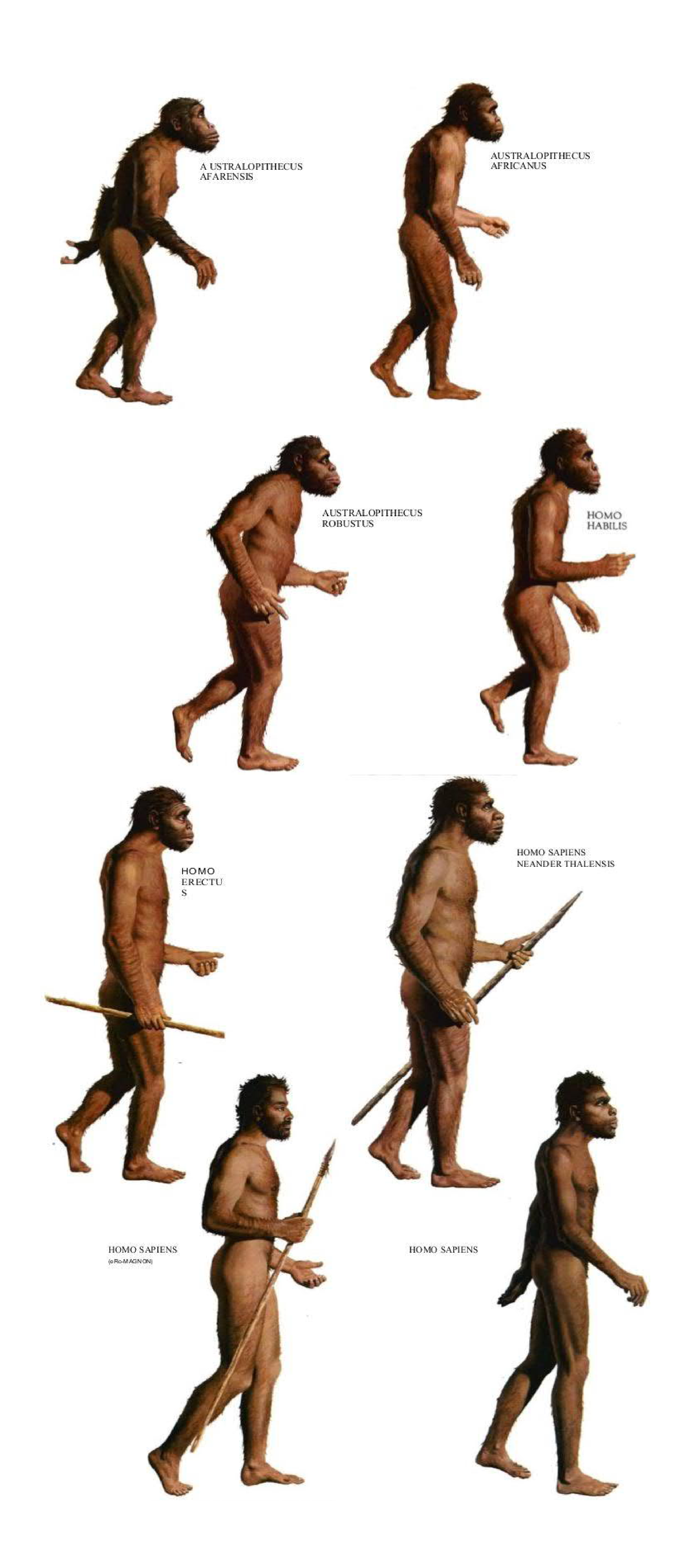
يُدَّعَى أحيانًا أن الانتخاب الطبيعي لم يعُدْ يعملُ على البشر الحديثين لأن بيئتنا المحيطة بنا اصطناعية. معظم الناس في العصر الحديث أكثرُ تحصينًا وانعزالًا عن [معظم] الأمراض والتقلبات البيئية والحوادث مما كان عليه البشر منذ قرونٍ قليلة ماضية فقط. إلا أن الانتخاب لا يزال يعمل بقوة حتى في أكثر المجتمعات تقدمًا. إن جينات أنيميا الخلية المِنْجَلِيَّة الآن ضارَّة في العموم، بدلًا من أنْ تكون مؤيِّدةً انتخابيًّا في مناطق انتشار الملاريا. إن الجينات التي تجعل الغيرَ أورُبيين ميَّالين للإصابة بمرض السُكريّ وسرطان المرارة يمكن تحفيزها بسهولة أكثر بنظام غذائي أمِرِكيٍّ إمبريالي استهلاكي "coca–colonized" أو غربي محتوٍ على الكثير من السكريات والدهون، بينما كانت جيناتٍ مفيدةً في بيئتها الثقافية الأصلية. ضمن السكان الميكرونيزيين Micronesian في جمهورية ناورو Nauru[2]، فإن حوالي ثلثي المجموعة السكانية يُصابون بسكريٍّ مُتسَبَّبٍ به بالنظام الغذائي بعمر الـ ٥٥ سنة، و ٥٠% من البيما Pima Indians السكان الأصليين لأريزونا الأمِرِكية مصابون بالسُكَّريّ.

في الختام، يبدو أنه رغم أن الحد الأقصى للعمر البشري لم يتغير كثيرًا جدًّا، فإن متوسط العمر المتوقَّع قد ازداد. وتعتمد بعض المجتمعات البشرية على الأقل حاليًّا بقوة على التغذية والإعداد الجسدي والاجتماعي والفكري الثقافي للأطفال حتى زمن بعد النضج الجسدي بكثير. السمات التي هي في العادة صفات طفولية في الرئيسيات، كالخيال والفضول والتعلم واللعب تُشجَّع حاليًّا في سنوات البلوغ الأبكر. إن هذه النزعة اجتماعية الآن. لا يوجد دليلٌ بعدُ على أي تغذية ارتجاعية تطورية تتسبَّبُ في نضجٍ جسديٍّ متأخرٍ أو قدرة وسعة مخية مزدادة. ليس واضحًا بعدُ ما إذا كان هذا سوف يحدُثُ ويغيِّر بيولُجِيَّةَ البشر وثقافتهم أيضًا. من الناحية الإمكانية، فإن ازديادَ فترةِ التعلُّمِ يمكن أن يكون له نتائج هائلة بالنسبة لنا ولكل شيءٍ حيٍّ على كوكب الأرض.

---

[1] حمض نووي للمتقدرات أو الحمض النووي للميتوكوندريات هو الحمض النووي الموجود في عضيات تسمى الحبيبات الخيطية (أو المايتوكوندريا أو المتقدرات أو الميتوكوندريات)، وهي التراكيب أو الهياكل داخل الخلايا التي تحول الطاقة في المواد الغذائية إلى شكل يمكن للخلايا استخدامها. معظم الحوامض النووية الأخرى موجودة في الكائنات الحية حقيقية النواة توجد في نواة الخلية.

[2] جمهورية ناورو (بالإنجليزية: Republic of Nauru) أو ما كانت تعرف قديما باسم الجزيرة السعيدة أو الجزيرة المبهجة هي دولة جزرية تقع في مايكرونيزيا في المحيط الهادي. أقرب الجزر لها هي جزيرة بانابا في جمهورية كيريباس، التي تبعد عنها ٣٠٠ كم شرقاً. تعد ناورو أصغر دولة جزيرية في العالم حيث تبلغ مساحتها ٢١ كم٢ (٨,١ ميل مربع). وناورو كذلك أصغر جمهورية مستقلة



A USTRALOPITHECUS AFARENSIS
AUSTRALOPITHECUS AFRICANUS
AUSTRALOPITHECUS ROBUSTUS
HOMO HABILIS
HOMO ERECTU S
HOMO SAPIENS NEANDER THALENSIS
HOMO SAPIENS
(cRo-MAGNON)
HOMO SAPIENS

الفصل الحادي والعشرون: الحياة في العصر الجليدي

المناخ هو أحد أهم العوامل بالنسبة لكل الكائنات المتعضِّية، وقد كانت ولا تزال التغيرات المناخية على نحو يقيني عوامل رئيسية مؤثرة على تطور أشكال الحياة. يمكن أن تغير التحركات التكتونية [لصفائح القشرة الأرضية] الجغرافيا المحيطية والقارية، ويمكن أن تغيِّر تلك التغيراتُ الجغرافية من أنماط المناخ الموسمي وتؤثر على إيكولُجيَّة وتطور الكائنات المتعضِّية على مستوى أحداث عالمية كبيرة (راجع الفصل ٦). كانت هناك تأثيرات كبيرة على أشكال الحياة عندما تغيرت جغرافيا العالَم مع انكسار قارة بانجيا الأم العتيقة في آخر دهر الحياة الوسطى Mesozoic ودهر الحياة الحديثة Cenozoic المبكر. نتجت بعض التأثيرات مباشرة من العزلة الجغرافية (راجع الفصل ١٨) لكن عوامل أخرى تتوسط [كأسباب وسطى ثانية مباشرة] من خلال التأثيرات الغير مباشرة التأثيرات الغير مباشرة للجغرافيا على المناخ [الأسباب الأولى]. الكثير من ألغاز أحداث تطور أشكال الحياة في دهر الحياة الوسطى Mesozoic قد تُحَلُّ عندما نستطيع إعادة تصور المناخات القديمة بدقةٍ أكثر. فقد نتج هذا على نحو يقينيٍ من برامج البحوث المكثَّفة المركَّزة في مناخات دهر الحياة الحديثة Cenozoic.

إننا نعيش في خلال عصر جليدي الآن، وهو منذ ٢,٥ مليون سنة ماضية حتى الآن أو نحو ذلك. ويصادِف أننا نعيش خلال مرحلة دافئة فيه، لكن لا توجد علامة على أنه انتهى. تتوسَّع وتمتد صفائح الجليد الضخمة وتغطي معظم القارات الشمالية ثم تتراجع مجدَّدًا. لقد قامت بذلك ١٧ مرةً على الأقل في آخر مليوني سنة ماضية. إلا أن العصور الجليدية كانت نادرة خلال تاريخ كوكب الأرض. كيف يؤثر عصر الجليد الحالي على أشكال الحياة؟

العصور الجليدية والتغير المناخي

العصور الجليدية ليست أحداثًا شائعةً في تاريخ كوكب الأرض. كان هناك عصرُ جليدٍ واسعِ الانتشار قربَ نهايةِ العصر قبلَ الكامبري منذ حوالي ٦٠٠ مليون عام ماضٍ (راجع الفصل ٤). في العصر الأُرْدُوفِيشيِّ Ordovician المتأخر _عندما صارت قارة جُنْدُوانا الجنوبية العتيقة فوق القطب الجنوبي_ انتشرت صفيحة ثلجية هائلة فوق معظم شماليِّ أفريقيا وعلى الأرجح امتدت إلى ما وراءها، متسبِّبةً في تغيراتٍ في أشكال الحياة المائية كافيةٍ لتمييز نهاية العصر الأُرْدُوفِيشيِّ وبداية العصر السيلوريِّ Silurian. انجرفَتْ قارة جُنْدوانا خلال منطقة القطب الجنوبي في أثناء باقي دهر الحياة القديمة Paleozoic، مع فترة جليدية مهمة على نحوٍ خاصٍ في أمِرِكا الجنوبيَّة قربَ نهاية العصر الديفوني Devonian. تموضعت صفيحة ثلجية صغيرة فوق جنوب أفريقيا في العصر الطباشيري المبكر، لكن التجلُّدَ الكبير المقياس انتشر مجدَّدًا فوق معظم قارة جُنْدُوانا في العصر الطباشيري المتأخر والبِرمِي المبكر. إن آثار هذا الحَدَثَ _في شكل أسطح صخور مُخَرْبَشَة وأكوام من حتات أو حطام الصخر المتثلِّج [[أو المثلجي، المجلدي، الذي من العهد الجليدي]_ منتشرة على نحوٍ واسعٍ في جنوب أفريقيا وأمِرِكا الجنوبية وأستراليا والهند والقطب الجنوبي (راجع الفصل ١٠). حدث تجلُّد في نصف الكرة الأرضية الشمالي في سَيْبِيرْيا لاحقًا في العصر البِرْمِيِّ. لكنْ بعد ذلك لم يكن هناك عصرٌ جليديٌّ كبير لمدة ٢٥٠ مليون سنة، حتى بدأ عصر الجليد الحالي. تقترحُ أدلةُ علمُ المناخات القديمة أن سطح كوكب الأرض تَبَرَّدَ خلال آخر ٦٠ مليون عام ماضٍ، حتى سقط الكوكب آخرَ الأمرِ في العصر الجليدي الحاضر.

العاملان الخارجيان الوحيدان اللذان يمكن أن يُسَبِّبَا تغيرًا مناخيًّا كبيرًا هما عمليتان فضائيتان: التغيرات في مدار كوكب الأرض حول الشمس أو التغيرات في الإشعاع الشمسي. ذينك التغيران يحدثان، لكنهما على الأرجح أصغر بكثير من أن يسبِّبا تغيرًا مناخيًّا كبيرًا في حد ذاتهما. رغم ذلك، فهما يسبِّبان تقلُّباتٍ في المناخ. يمكن أن يُطلِقَ اصطدامُ كُوَيْكِبٍ بكوكب الأرضِ تغيرًا مناخيًا على نحوٍ يمكن تصوُّره، لكنْ لوقتٍ قصيرٍ فقط ولو أن الظروف كانت مناسبةً من قبلها لبدء والحفاظ على تغير مناخي لفترة كبيرة من الزمن.

يبدو أننا يجب أن نبحث عن آليَّات التغيرات المناخية الكبيرة هنا على كوكب الأرض. توجد عمليتان يمكن أن تؤثِّرا على كمية الأشعة الشمسية التي يحتفظ بها كوكب الأرض. بعض الأشعة الشمسية تُعْكَس لترجع إلى الفضاء (تأثير انعكاس أشعة الشمس [من على سطح كوكب الأرض])، ويؤدي التغيرُ في كمية السخونة المنعكسة إلى تبريد أو تدفئة كوكب الأرض. إن الغازات التي في الغلاف الجوي _وخاصةً ثاني أكسيد الكربون والميثان_ مؤثِّرة جدًّا في امتصاص الأشعة الشمسية (تأثير الصوبة الزجاجية)، ويمكن للتغيرات في كميات تلك الغازات أن يُقَوِّيَ أو يُضْعِفَ تأثيرَ الأشعةِ الشمسيةِ، أو يلغيه بالكامل.

الشروط المُسْبَقَة للتغير المناخي على كوكب الأرض بسيطة. لحدوث عصر جليدي، يجب أن يكون هناك كثيرٌ من سقوط الثلج في مناطق يتراكم بها بدلًا من أن يذوبَ من جديد. مثل ذلك الموقف يمكن أن يحدث لو رُتِّبَت الجغرافية العالمية لكوكب الأرض على النحو المناسب. حدوث عصر جليدي _أو أي تغير مناخي آخر_ يُمكِن أنْ يُشَجَّعَ أو يُثَبَّط ويُعاقَ بالتغيرات الجغرافية الناتجة عن تحركات الطبقات التكتونية أو البنائية [طبقات القشرة الأرضية]. لكن الجغرافيا تتغير من خلال حركة الطبقات التكتونية. تعمل التغيرات في الجغرافيا أيضًا على تغير تأثير الأشعة المنعكسة من على سطح كوكب الأرض، ومقياس ونشاط التيارات المحيطية، وتوزُّعِ الحرارة على المناطق المختلفة، وكل من ذلك يؤثِّرُ على المناخ.

في العموم، يتطلَّب حدوث عصر جليدي وجود مناطق كبيرة من اليابسة في خطوط العرض العالية. يجب أن يكون القطبان معزولين عن المياه الدافئة. وآخرًا، لوضع كوكب الأرض في فترة جليدية طويلة، يجب أن يكون هناك مجال لانتشار الصفائح الثلجية القاريَّة الكبيرة وتوفير انعكاسية عالية (مُعامِل انعكاس أو معدَّل عاكسية) لمناطق كبيرة. بالتالي فإن الجغرافيا تتحكم فيما إذا كانت حرارة كوكب الكوكب تتوزَّع على نحوٍ جيِّدٍ أم لا، وإذا ما كانت الصفائح الثلجية القطبية يمكن أن تتكوَّنَ أم لا. تتحكم حركات الصفائح التكتونية في توزُّع القارَّاتِ، ويمكن أن تنشَأ الظروف اللازمة للتسبُّبِ في عصر جليدي من زمن إلى أخر بمجرد تحركات صفائح القشرة الأرضية.

تتضمن التغيراتُ المناخية الكبيرة لكوك الأرض تقلُّباتٍ واضحة مميَّزة. يمكن أن تحدث عمليات تقدم أو تراجع الثلج حتى عندما تكون الأرض داخلةً في عصرٍ جليديٍّ. لا تزال مناطق هائلة من القارات الشمالية مغطَّاةً بحطام أسقطته الصفائح الثلجية خلال ٤٠ حدث تقادم وتراجع ثلجي أو نحو ذلك خلال آخر مليوني سنة ماضية. تُسَجِّلُ تقلُّباتُ درجةِ الحرارةِ الكبيرةِ من خلال متحجرات الكائنات المجهرية في رواسب قيعان البحار. لقد تقلَّبَ مستوى سطح بحار العالم إلى أعلى وأسفل بأكثر من سبعين مترًا، بينما كانت نسبة ٥% من ماء كوكب الأرض تتجمَّد إلى صفائح ثلجية وتذوب على التعاقُبِ. تُسَجِّل تلك التغيراتُ في مستوى البحار على مستوى العالَم في الرواسب بعيدًا عن الصفائح الثلجية. كمثال، فإن الجزر والجزر المرجانية (الأتولات)[1] في المحيطين الأطلسي والهادئ قد انكشفت وغُمِرَتْ على نحو متكرر.

تُظْهِرُ الصخورُ العتيقةُ أيضًا أدلةً على تغيرٍ متكرر ومألوف في مستوى أسطح البحار. كمثال، نَتَجَتْ الحلقات المنتظِمة الخاصة بالحجر الجيري والحجر الرملي والتكوينات الفحمية في صخور العصر الطباشيري الخاصة بأمِركا الشمالية وأورُبا من الارتفاع والانخفاض الدوري لمستوى سطح البحر، وكانت هذه الصخور تترسب في مناطق خطوط العرض الاستوائية بعيدًا عن مجالِد (مَثْلَجات) قارة جُنْدوُانا التي تسبَّبَتْ بوجودها بطريقة غير مباشرة. لقد تُعُرِّفَ على الكثير من الحالات الأخرى للتغيرات المناخية الدورية المتعاقِبة، حتى في أزمنةٍ لم يكن فيها بكوكب الأرض صفائح ثلجية، بالتالي ينبغي علينا أن نبحث عن سببٍ عامٍّ لها، غير متصل بصفائح الثلج كذلك.

لقد اقْتُرِحَتْ النظريةُ الفلكية لحدوث العصور الجلدية منذ أكثر من قرنٍ ماضٍ. لقد توصَّلَ إليها Milutin Milankovitch مِلْتِنْ مِلانِكِفِتْش في عشرينيات القرن العشرين (١٩٢٠ت)، ونُقِّحَتْ بالحسابات الكمبيوترية في سبعينيات القرن العشرين. لقد أُثْبِتَتْ من خلال الدليل من المتحجرات المجهرية التي تسجِّلُ تقلُّباتِ درجة الحرارةِ في المحيطات. تقترح نظرية مِلانِكِفِتْش أن التغيرات الضئيلة في مدار كوكب الأرض حول الشمس وميل محور الأرض يتسبب في اختلافات هامة للمناخ (المستطيل التلخيصي التوضيحي ٢١– ١).

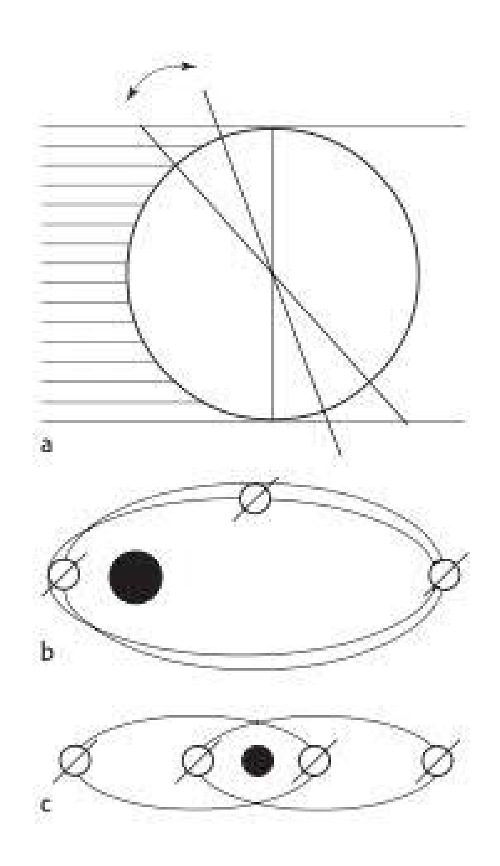
المستطيل التلخيصي ٢١– ١ عناصر نظرية مِلانِكِفِتْش Milankovitch

ميل المحور: زيادة أو نقصان ميل محور دوران كوكب الأرض (الرسم ٢١– ١ أ) _والذي يتباين ما بين ٢٢° و٥, ٢٤° درجة_ يُزِيد أو يُنْقِص من نتائج المواسم (الفصول) في دورةٍ من حوالي ٤١ ألف عام (الرسم ٢١– ٢).

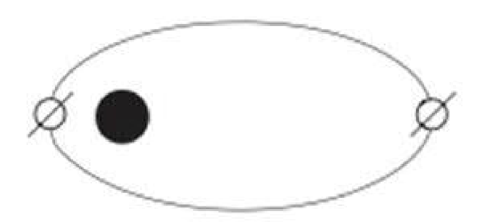
[1] الأتولات atolls أو الشعاب المرجانية الحلقية: جزر مرجانية حلقية، الواحدة منها هي جزيرة مرجانية يتخللفها هَوْر، والأتول نوع من الجزر يوجد في المحيط الهادئ والهندي. والجزر المرجانية جزر مستديرة أو حلقية الشكل تحيط بالبركة الشاطئية المتصلة بالبحر، ويحيط بالأتول بحر مفتوح. وتتكون هذه الشعاب من المرجانيات والطحالب الكلسية. والشعب الحلقي هو شعب في البحار العميقة يبدو على هيئة جزيرة ذات شكل حلقي تقريبًا تحصر بداخلها بحيرة مستديرة. ويعزى أصل الشعاب الحلَقية إلى نمو المرجان على مراحل حول جزر بركانية تهبط تدريجيًا تحت سطح البحر أو إلى الارتفاع التدريجي لمنسوب البحر حول هذه الجزر. ويزداد هبوط الجزيرة مع ازدياد نمو المستعمرات حتى تظل ملامسة لمنسوب الماء. ومع اختفاء الجزيرة البركانية تمامًا يظهر الشعب المرجاني في هيئة لقة محيطة ببحيرة مستديرة. مرادف للكلمة: شُعب حلقي أو طوقي ring reef، وحلقة شعابية reef ring

التغير البطيء لمدار دوران الأرض حول الشمس: إن مدار كوكب الأرض حول الشمس ليس دائرةً بل إهليلج (بيضاوي)، مع كون الشمس مركزه (بؤرته) (الرسم ٢١– ٢). أحد القطبين يكون أقرب إلى الشمس في شتائه، بينما القطب الآخر يكون أقرب لها في صيفه. بالتالي، ففي أي زمنٍ، يكون لأحد القطبين شتاءات دافئة وصيفيات باردة، بينما يكون للقطب الآخر صيفيات دافئة وشتاءات باردة. رغم ذلك، فإن التعاقب أو التغير البطيء لمدار كوكب الأرض حول الشمس يغير ويبدل التأثير بين القطبين في دورات من حوالي ١٩ ألف أو ٢٣ ألف سنة (الرسم ٢١– ١ ج).

لا ثباتية أو تغير مركز المدار وكونه غير دائري: يتغير ويتباين مدار الأرض بحيث يكون أكثر بيضاويةً في بعض الأزمنة مما هو عليه في الأخرى، مما يُقَوِّي أو يُضْعَفُ تأثير التغير البطيء لمدار دوران الأرض حول الشمس (الشكل ٢١– ١ ب). هذا التغير في مركز المدار يؤثر على المناخ في دورات من حوالي ١٠٠ ألف سنة وحوال ٤٠٠ ألف سنة. بالتأكيد، عندما تكون صفة اللادائرية منخفضة (عندما يكون المادر أقرب إلى شكل الدائرة)، فإن تأثير التغير البطيء لمدار دوران الأرض حول الشمس يُنْقَصُ كثيرًا.



الشكل ٢١– ١ يمكن أن تتغير بعض مقاييس مدار كوكب الأرض حول الشمس عبر الزمن، وعندما تتغير فإنها تؤثِّرُ على مناخ كوكب الأرض. (أ) تتسبَّبُ زيادةُ أو نقصانُ ميل ميل محور كوكب الأرض في فصول أقوي أو أضعف. (ب) لا مركزية وعدم دائرية المدار البيضاوي لكوكب الأرض تعني أن أحد القطبين يتعرض دائمًا تقريبًا لتأثيرات موسمية أكبر من القطب الآخر، وتُضْعِفُ أو تُقَوِّي التغيرات في اللامركزية أو عدم الدائرية من ذلك التأثير. (ج) التغير البطيء للمدار البيضاوي الخاص بدوران الأرض حول الشمس يبدِّل ويُناوِب تأثيرَ سمةِ اللادائرية بين القطبين.



الرسم ٢١– ٢ محور الأرض مائل. وعندما تدور حول الشس، فإن الأشعة الشمسية تتركز على أحد نصفي الكرة الأرضية ثم على الآخر بالتعاقب، مما يتسبَّبُ في الفصول الأرضية. وأثناء مرور الفصول، نرى (توهمًا) أ الشمس تتحرك تدريجيًّا إلى الأعلى في السماء، ثم إلى الأسفل، [وهو ما يُعرَف باللغة العربية التراثية بالمشارق والمغارب أو دورة الفلك].

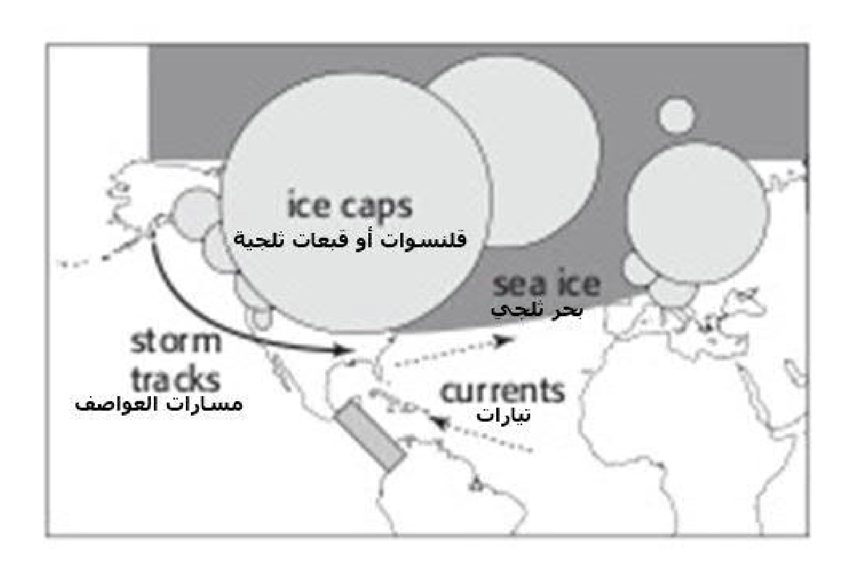
الأكثر أهمية في ذلك هو أن دورات Milankovitch يمكنها أن تُسَبِّب تقدُّمَ أو تراجعَ الصفائحِ الثلجية، لو كانت الظروف الملائمة لحدوث عصر جليدي موجودة من قبلُ بالفعل. تتفق النماذج الكمبيوترية لعمليات تقدم وتراجع الثلج تمامًا مع بيانات السجل الجيولُجيّ. تقترحُ النماذجُ أن المناخ المعتدل الحالي على كوكب الأرض غير عادي جدًّا بالنسبة لجغرافيتنا الحالية. إن الفترات الدافئة ذوات الصفائح الثلجية الشمالية المنقوصة وسط العصور الجليدية قصيرة للغاية مقارنةً بالفترات الجليدية ذوات الصفائح الثلجية.

الآن هو وقت تطبيق كل هذه النظرية على العصر الجليدي الحالي لكوكب الأرض، وهو العصر الذي نعيش فيه.

العصر الجليدي الحاضر

دخلت الأرضُ ولا تزال في عصر جليدي منذ حوالي ٢,٥ مليون سنة ماضية، لكن تأثيراته كانت ولا تزال ملحوظةً أكثر في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وهكذا فإن المثالج [المجالد] الشمالية[1] التي بدأت في التكون في عصر البِلَيوسين [الحديث القريب] واستمرت خلال عصر البِلَيستوسين [الحديث الأقرب] كانت مترَكِّزةً فوق صفائح ثلجية جديدة ضخمة، معظمها فوق المحيط الأطلسي الشمالي (الرسم ٢١– ٣). في نفس الزمن كان هناك تبرُّدٌ شديد قارس في جنوبيّ الكرة الأرضية.

حالما تراكمت الصفائح الثلجية، فإنها غيَّرَتْ أنماط المناخ في المحيط الهادئ الشمالي والمحيط الأطلسي الشمالي. تجمدت أسطح البحر في المحيط الأطلسي الشمالي وصولًا جنوبًا حتى نيويورك الأمِركية وإسبانيا (الرسم ٢١– ٣). انحرفت مياه تيار الخليج الدافئ باتجاه الشرق باتجاه شمالي أفريقيا، بدلًا من أن تجلبَ المناخَ الدافئَ الرطبَ لأورُبا الغربية حتى إسكنداڤيا.



الرسم ٢١– ٣ المناخ الشتوي للمحيط الأطلسي منذ ١٨ ألف عام ماضٍ. برَّدَتْ الألواح الثلجية التامة التكون المحيط الأطلنطي الشمالي بحيث امتد الجليد البحري جنوبًا حتى نيويورك وإسبانيا. انحرفت مسارات العواصف الشتوية إلى الجنوب بعيدًا في أمركا الشمالية، مكَوِّنةً بحيرات كبيرة فيما هو في العصر الحالي الأجزاء الصحراوية الغربية والشمالي غربية من أمِركا. كانت الرياح والتيارات المائية الدافئة في المحيط الأطلنطي بعيدة إلى الجنوب أيضًا من خطوط عرضها الحالية. لقد جلبت الرطوبة إلى ما هو حاليًا الصحراء الكبرى في شمال أفريقيا، جاعلة معظم أورُبا صفيحة ثلجية وتندرة [سهول ثلجية بها أشجار قزمة نابتة من طين مغطى دومًا بالثلج].

عند وصول الثلج الكندي إلى أقصاه منذ حوالي ٢٠ ألف سنة (بزيادة أو نقصان ألفي سنة)، تقدم جنوبًا بعيدًا حتى نيويورك وسانت لِوِسْ وأُرْجيون في أمِركا الشمالية. حرَّكَ الحتُّ أو الجَرْفُ الثلجيُّ كتلًا ضخمةً من الصخور ونقلها لمئات الأميال. حوَّلَتْ الصفائح الثلجية الشمالي أمِركِيَّة تيارات الماء ومسار العواصف الرئيسي إلى اتجاه الجنوب (الرسم ٢١– ٣). صار غربيُّ الولاياتِ المتحدَّةِ الأمِركِيَّة أكثرَ رطوبةً مما هو عليه في العصر الحالي، بحيث تَكَوَّنَتْ بحيراتُ مياهٍ عذْبَةٍ من هطول الأمطار المتزايد ومن الماء الذائب على طول واجهة الصفيحة الثلجية. سُدَّتْ قنوات الأنهار بالثلج حتى الشمال، وأُفْرِغَت كل المياه الذائبة تقريبًا في الجنوب حتى خليج المكسيك في نهر مِسِسِبي Mississippi عملاق.

عندما بدأت الصفائحُ الثلجية الشماليُّ أمِركية في الذوبان والتراجع، لا بد أن الماء المتدفق نزولًا من عند نهر المِسِسِبي حتى خليج المكسيك قد ازداد على نحو هائل. الماء المفرَّغ من الصفيحة الثلجية الشمالي أمِركِيَّة غَيَّرَ محتوى الماء البحري الخاص بخليج المكسيك عندما تدفق باتجاه الجنوب في الأسفل من نهر المِسِسِبي بكمياتٍ كبيرةٍ بدءًا منذ حوالي ١٤ ألف عام ماضٍ، حوالي عشرة أضعاف سعة تدفقه الحالي. في آخر الأمر، عندما تراجعت حافة الصفيحة الثلجية، بدأت البحيرات العظمى [أو الكبرى] الأمِركية في الصرف في المحيط الأطلسي بدلًا من ذلك، أولًا أسفل Hudson، ثم سانت لورِنْسْ St. Lawrence.

[1] Glaciation التجلد أو الغمر بالجليد: تراكم الثلج ومسطحات التثليج وزوالها ونشاطها الجيولُجي من حت وترسيب، وما يشتمل عليه من تقدم وتراجع الجليد فوق مساحة معينة، وما يصاحب ذلك من تغير سطح الأرض بالتحاتِّ والترسب بفعل المثالج، وما ينتج عن هذا من تشكيلٍ لسطح الأرض وترك معالم أرضية تدل على ذلك

حدثت تأثيراتٌ أكثرُ دقةً في خطوط العرض الأدفأ. فهطول الأمطار المتزايد في الصحراء الكبرى في أثناء تراجع الثلج كَوَّنَ أنهارًا كبيرةً تدفقَّت من وسط الصحراء الكبرى إلى نهر النيل؛ وسكنتها التماسيح والسلاحف المائية، وعاشت مجموعاتُ حياةٍ حيوانيةٍ ثريَّةٍ وفيرةٍ على طول ضفافها.

الحياة والمناخ في العصور الجليدية

على نحو مدهش، فلا يبدو أن التقلبات القاسية للمناخ قد أثَّرَتْ أو أضرَّت كثيرًا بنباتات أو حيوانات العصور الجليدية. فرغم أن عمليات تقدم وتراجع الجليد كانت سريعةً على المقياس الجيولُجِيّ، فإنها كانت بطيئةً على نحوٍ كافٍ للسماح للمستعمَرات الحيوانية بالهجرة شمالًا وجنوبًا مع تغير صفائح الثلج وتأثر أنماط النطاقات المناخية وأنماط المناخ بعمليات التقدم والتراجع للجليد. كانت المُسْتَعمَرَات القريبة من المثالج الجبلية[1] قادرة على التكيف مع تقدمات وتراجعات الثلج ببساطة بالتحرك إلى الأعلى والأسفل في خطوط العرض. قُلِّلَتْ الغابات الاستوائية المطيرة جدًّا، لكن المواطن لم تتلاشَ، وبقيت أشكال حيواتها الحيوانية والنباتية حية على نحو جيد. كانت السافانات الاستوائية أكثر امتدادًا واتساعًا في أثناء الأوقات الأكثر جفافًا التي ترافقت مع تجلدات (انتشار الثلج في) العصور الجليدية.

أهم العوامل المؤثِّرة تحكمت بها التغيراتُ في مستوى أسطح البحار والتي حدثت مع كل تقدم وتراجع للجليد. كل تجلد (انتشار للجليد وتغطٍّ) كان يخفض مستوى سطح بحار العالم حوالي ١٢٠ مترًا أو نحو ذلك (حوالي ٤٠٠ قدم)، كاشفًا مناطقَ يابسةٍ أكثرَ وموحِّدًا أراضيَ مع بعضها البعض. وكان كل حادث ذوبان للثلوج يعيد غمرَ الأراضي المنخفضة ليعيد تكوين جُزُرٍ.

تَحْمِل معظمُ القاراتِ أمثلةً لكائنات حية جنحت أو شَرَدَتْ بفعل الغمر والتدفئة التي حدثت في أثناء وبعد آخر تراجع للجليد. فكمثال، هناك في الصحراء الكبرى الأفريقية أشجار سرو عمرها حوالي ألفي عام. وهي تطرح بذورًا والتي لا تنبت أبدًا لأن المناخ في العصر الحالي أكثر جفافًا بكثير مما اعتيد أنْ يكون. وتؤكد الرسومات الصخرية العتيقة في الصحراء الكبرى لزراف وظباء دليلَ أشجار السرو. هاجر الزراف والظباء جنوبًا إلى السافانات، أما أشجار السرو فتقتصر على الشمال حول البحر المتوسط، والصحراء الكبرى حاجز ومانع جغرافي مرعب للتبادل البيولُجي بالهجرات.

وقعت القليل من أنواع الكائنات الحية في فخ طريق جغرافي مسدود وأبيدَتْ. لقد أبادت صفائحُ الثلجِ المتقدِّمة _وليس القديس باتْرِكْ St. Patrick_ الثعابين من أَيرلِاند [أَيرْلَنْدَا]، ولم تكن ولا تزال الثعابين قادرة حتى الآن على عبور البحر الأَيرْلَنديّ لتعيد استيطان الجزيرة. إن أسطورة وحش بحيرة لُكْ نِسْ Loch Ness مستحيلة لأن بحيرة لُكْ نِسْ تجمدّتْ تحت ميلٍ من الثلج عند زمن ١٨ ألف عام ماضٍ. حوصِرَتْ غابات أورُبا الغربية بين ألواح الثلج من سْكانْدِنِيفْيَا (إسكندنافيا) وأبيدت. وبعدما ذابت صفائح الثلج، أعيد استعمار أورُبا الغربية بأشجار نفضية صلبة الخشب؛ بينما في كل مكان آخر _في أمِرِكا الشمالية وسْكانْدِنِيفْيَا وسَيْبِيرْيا_ تهيمِن على الغابات الشجرية الكبيرة الصنوبريَّات الطريَّة الخشب.

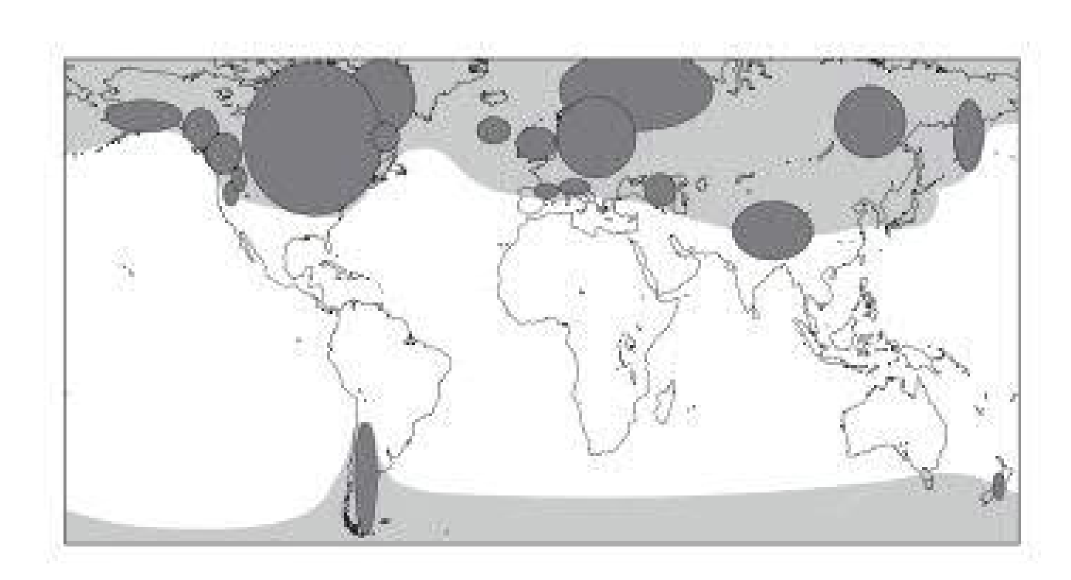
وفي البحار، وقعت الكثير من أنواع رخويَّات الماء الدافئ التي تراجعت باتجاه الجنوب مع أول حدث تبريد كبير في شَرَكٍ في البحار التُخْمِيَّة حول المحيط الأطلسي الشمالي؛ في الكاريبي والبحر المتوسط وبحر الشمال. لم تستطع العثور على طريق خالٍ من العقبات للتراجع باتجاه الجنوب، وتعرَّضَتْ لانقراضاتٍ كبيرةٍ. لكن معظم تلك الأحداث حدثت في أثناء التقدمات الجليدية المبكرة، وأما الكائنات الحيَّة التي نَجَتْ من أول بضع أحداث التجلدات صارت متكيفة على نحو جيد جيد لظروف عصر البِلَيِستوسين [الحديث الأَقرب] وتعرضت لانقراضاتٍ أقلَّ [في أنواعها] في أثناء التجلدات التالية.

---

[1] Glacier أيْ: المجلدة أو المثلجة أو المُجْمَدة أو النهر الجليدي أو الجليد المتبلور: كساء أَوْ أغطية من الجليد، سميكة، وربما تغطي مساحات كبيرة أَو تكوُن في أودية أَوْ على قِمَم الجبال. وتظهر بهيئة كتلة هائلة من الثلج أَوْ الجليد المتبلور المتحرك. توجد على صورتين: في المثالج القارية أو الغلاف الجليدي حيث تنتشر الكتلة من مركزها في أكثر من اتجاه واحد. وفي المثالج الجبلية التي يسميها البعض نهر الثلج حيث تتحرك الكتلة في اتجاه محدد، وتكون واضحة المجرى وإنْ اختلف اتساعه. وتتكون جبال الجليد حينما تصل المثلجة إلى البحر فتنفصل كتل كبيرة منها وتطفو في عرض البحر. أما قُبَّعات أو قلنسوات الجليد تغطي قِمَم الجبال شاهقة الارتفاع، مشكلة مسطحًا جليديًّا يغطي مساحة متقاربة الأبعاد، أوْ يغطي هضبة كبيرة حيث يكون خط الثلج منخفضاً، وتزحف تلك القلانس أوْ المثالج زحفاً بطيئاً شاملاً تجاه حافات المساحة التي يغطيها.

لدينا أدلة جيدة من المتحجرات على أشكال الحياة النباتية والحيوانية الخاصة بعصر البلَيسْتوسين. لقد قدَّمَت لقايا عظام كثيرة للغاية معثورٌ عليها في ألاسكا وسَيْبِيرْيا في كهوفٍ وحفر بالوعية[1] ومَنَزَّات أو مناشع القطران دليلًا ممتازًا على أنظمةٍ إيكولُجِيةٍ ثريَّةٍ ومتكيفة جيدة على كل القارَّات.

كانت هناك تغيراتٌ في الحيوانات والنباتات البريَّة في أثناء وبعد آخر تجلد أكبرُ بكثيرٍ من أي تجلد سابق، وكثيرًا ما تباينت التأثيرات والنتائج تبعًا لحجم الكتلة الأرضية. يحدث لبعض الكتل الأرضيَّة أحيانًا تغيراتٌ دراميّة [كبيرة فجائية]. كمثال، كانت ألاسكا وسَيْبِيرْيَا متحدتين من خلال ما هو الآن مضيق بيرِنْج Bering Strait، وكانت جرينلاند متحدة مع أمركا الشمالية، ليُكَوِّنَ كلهنَّ معًا قارَّةً شماليَّةً عملاقةً واحدةً. وكانت أستراليا متحدةً مع نيوجينيا، وكانت البحار الإندونيسية جافَّةً لتمثِّل شبه جزيرة كبيرة ناتئة من آسيا (الرسم ٢١- ٤). يقارن المستطيل التلخيصي ٢١- ٢ بين الكتل الأرضية الرئيسية الكبيرة (الكتل القاريَّة) في العصر الحاليّ ومنذ ١٨ ألف عام ماض عند أقصى آخر تجلد؛ إنه يُظهِر كيف أزيلَتْ الحواجز المائية البحرية بشدة لتتحد كتل أرضية مع بعضها البعض.



الرسم ٢١- ٤ رسم لخريطة جغرافيا العالم عند زمن ١٨ ألف عام ماضٍ. تظهر أكبر الصفائح الثلجية بلون رمادي غامق. وكتل الأرض والمناطق البحرية التي كانت مغطاة بالتَّنْدَرة (السهول الثلجية) والبحار المتجمدة تظهر بلون رمادي أخف. لقد أشرتُ إلى بعض التغيرات الجغرافية الهامة في حدود السواحل. كمثال، كان معظم قاع المحيط بجانب جنوبي شرق آسيا وأستراليا وغربي الإنديز أرضًا جافةً في ذلك الزمن.

المستطيل التلخيصي ٢١- ٢ مقارنة بين الكتل الأرضية الرئيسية الكبرى، في العصر الحالي ومنذ ١٨ ألف سنة

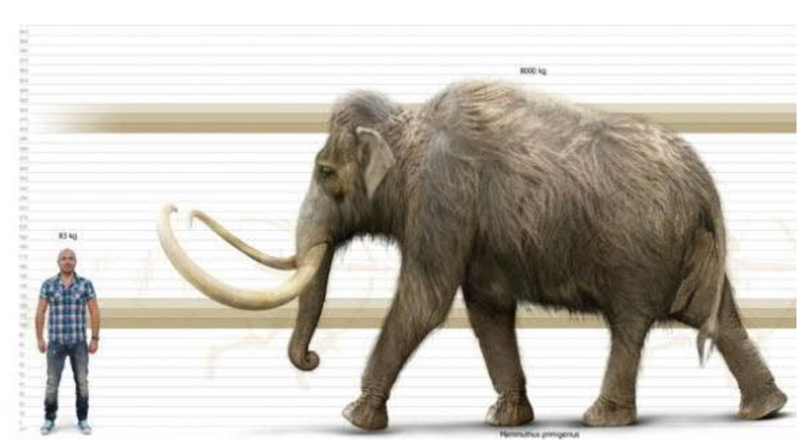
الكتل الأرضية الرئيسية الكبرى في العصر الحالي	الكتل الأرضية الرئيسية الكبرى في عصر الجليد منذ ١٨ ألف سنة
١-أوراسيا مع أفريقيا	١- قارة عالمية واحدة كبيرة
٢- الأمرِكتَان	٢- القطب الجنوبي
٣- القطب الجنوبي	٣- ميجانِسْيا: أستراليا ونيوجينيا
٤- أستراليا	٤- مدغشقر
٥- جرينلاند	٥- نيوزيلاند
٦-نيوجينيا	
٧- بورنيو Borneo	
٨- مدغشقر	
٩- جزيرة بافِنْ Baffin[2]	
١٠- سومطرة (سومَتْرة)	

[1] sink hole دارة. حفرة بالوعية، جوة غائرة، ثقب بالوعي (في صخر). حفرة غاطسة. ثقب غاطس. جوبة. جابية. حفرة قمعية. دولين: حفرة كبيرة بشكل القمع أو أنبوبية دائرية الشكل، تتكون في الصخور الرسوبية الكلسية، مثل: حجر الجير، أوْ في صخور المتبخرات، مثل: الجبس والأنهيدرايت، وتنشأ نتيجة انحلال أوْ ذوبان أجزاء من الصخر القابلة للذوبان كالحجر الجيري والحصى الجير أوْ الملح. وتكون الجوبة متصلة بغيرها من الحفر بممرات تحت أرضية. وتسمى أيضاً ثقباً خسيفاً Doline أو فجوة غائرة Swallow – hole.

[2] جزيرة بافن تقع في شمال كندا، هي منطقة قليلة السكان لا تتجاوز ١١،٠٠٠ نسمة حيث تتواجد السلسلة الجبلية لبافن التي تشمل قمة جبل أسغراد وقمة جبل أودين الأكثر ارتفاعاً في الجزيرة وتصل قمته إلى ٢،١٤٧ مترا (٧،٠٤٤ قدما) فوق سطح البحر. تقع الجزيرة ضمن محيط الدائرة القطبية الشمالية، وهي أكبر جزير تابعة لكندا وخامس أكبر جزيرة في العالم. إجمالي مساحة بافن يبلغ ٥٠٧،٤٥١ كم٢. وقد سميت تبعا لمكتشفها البريطاني وليام بافِنْ.

التغيرات القارية

علـى القـارات الكبـرى، كانـت الثدييات والطيـور الأكبـر حجمًا الخاصـة بعصـر البِلَيستوسين [الحـديث الأقـرب] فـي معظمهـا مختلفـة عـن نظائرهـا الحديثـة المعاصرة. فقبل آخر تقدم للجليد تمامًا، كان في أمِركا الشمالية مَسْتودونات (mastodons كائنات شبيهة بالفيلة ومن أقاربها) وماموثات وثيران بيسون ضخم وحيوانات الكسلان الأرضي الضخم وقططيّات سيفية الأنياب وأحصنة وجمال ودستات من الثدييات الكبار الأحجام الآخرين. وكان في قارة أوراسيا معظم تلك الحيوانات، بالإضـافة إلـى أيلٍ ضـخمٍ ووحيد قرن ذي فراء. وجالَ القردُ الضـخمُ Gigantopithecus منحدراتِ الهيمالايا (راجع الفصل ١٩). طيـور المـوا الخاصـة بنيوزيلانـد والطيـور الفيليـة أو الضـخمة الخاصـة بمدغشـقر مشـهورة جـدًّا (راجـع الفصـل ١٨)، لكنْ كـان فـي أسـتراليا[1] طيـور أرضـية ضخمة بنفس حجم تلك ودستة من المشيميات الضخمة. كل تلك الكائنات منقرضة الآن.



حدثت الانقراضات الكارثية في أزمنة مختلفة على قارّات مختلفة. في كل حالة، كانت الثدييات والطيور جزءًا من أنظمة إيكولُجِية مزدهرة. كمثال، لأمِركا الشماليَّة سجل متحجرات جيد جدًّا لثدييات عصر البِلَيسْتوسين الكبار الأحجام. انقرض عشرون جنسًا في مليوني سنة قبل آخر ذوبان لصفائح الثلج، ثم فُقِدَ (انقرض) ٣٥ جنسًا في أقل من ٣ آلاف سنة. يؤرّخ التأريخ بالكربون لآخر انقراض جماعي بأنه منذ ١١ ألف عام ماضٍ، حيث أن سجل المتحجرات جيد فإن الانقراضات تبدو فجائية. انقراضات أمِركا الشماليَّة مسرودٌ بعضها في المستطيل التلخيصي ٢١- ٣.



BOX 21.3

كانت بعض حيوانات العصر الجليدي _مثل الماموث ذي الفرو ووحيدي القرن ذي الفرو_ متكيّفةً خِصِّيصًا للحياة في المناخات الباردة. فقد كانت أكثر كثافةً من أقاربهم الأحياء، وقد وُجِدَتْ في مناطقَ كانت قريبةً جدًّا من الصفائح الثلجية في ذلك الزمن. كانت الماموثات ذوو الوبر يلقَوْنَ حتفَهُم أحيانًا

[1] أستراليا بلد المؤلف لذلك يعطيها بعض الاهتمام الشعوري، كما لاحظنا وضعه لها في حديثه عن التطور والجغرافيا في أول قائمة سرده للقارات، كحب واعتزاز بوطنه على الأغلب

بالسقوط في صدوعٍ ثلجيَّةٍ. لقد وُجِدَتْ أجسادُهم وهي لا تزال متجمّدةً في التربة المتصقّعة [المتجمِّدة] في سيبريا، محفوظةً على نحوٍ كافٍ لتُعْلِمَنا بالكثير للغاية عن طريقة حياتهم (الصورة ٢١– ٥). تُظْهِرُ جالوناتٌ من المحتويات المتجمِّدة للأمعاء أن الماموثات ذوي الوبر كانت تأكل البردي والأعشاب وترعى على أشجار التَّنْدَرَة مثل مثل شجر جار الماء[1] والبتولا (شجر القضبان) والصفصاف. كانت أنياب البالغين متكيفة في شكلها لإزالة الثلج من العَلَفِ في الشتاء. كانت الماموثات ذوو الفرود متكيِّفين خِصِّيصًا للحياة في خطوط العرض العالية، ولدينا أدلة على تفاعلهم مع عمليات تقدُّم وتراجع الثلج؛ كانت التغير الوحيد في الحجم. كان الماموثات ذوو الوبر السيبيريُّون بحجم حوالي ٢٠% أكبر في أثناء الفترات الدافئة بين العصور الجليدية مما كانوا عليه في الأزمنة الأكثر برودًا.





الصورة ٢١– ٥ اكتشاف متحجرة ماموث Beresovka الشهيرة في سيبريا في عام ١٩٠٠. مأخوذة آلة تصوير قديمة.



Yuka Mammoth مومياء ماموث يوكا

[1] جار الماء شجر حرجي يألَف الماء، ذو قرابة مع شجر البتولا.



مومياء ماموث محفوظة في متحف مدينة بطرسبرج St Petersburg museum

كانت ثدييات عصر البليستوسين الكبار الأحجام قادرين على نحو جيد على مقاومة التغير المناخي وكذلك قسوة المناخ. منحتهم أحجامُ أجسادِهم الكبيرةِ معدَّلات تمثيل غذائي منخفضة، لذلك فقد استطاعوا الحياةَ على غذاء منخفض الجودة جدًّا. وكانوا عند البلوغ غير معرَّضين إلى حد كبير لخطر الافتراس من جانب اللواحِم. إلا أن الثدييات والطيور الكبار الأحجام انقرضوا، بينما لم تُعانِ الأنواعُ الصغارُ الأحجام بنفس الشدة. لا تزال تعيش النباتات التي كانت يأكلها الثديياتُ الكبارُ الأحجامِ، وكذلك تعيش أنواع الثدييات والطيور الصغار الأحجام والحشرات التي عاشت معهم آنذاك. وفي المحيطات، لم يحدث أي شيء للثدييات البحريِّين الكبار الأحجام.

في أمِركا الشمالية وأمِركا الجنوبية حدثت الانقراضاتُ في زمن قصير قرب نهاية العصر الجليدي، بالقرب جدًّا من زمن ١١ ألف عام ماضٍ. لقد كان زمنًا باردًا جافًّا على نحوٍ غيرِ عاديٍّ، بحيث سهُلَ على جيولُجِيّي أمِركا الشمالية الجدال بأن الانقراض كان مرتبطًا بالتغير المناخي.

لكن هذا التفسير، حتى لو كان صحيحًا، يشمَل فقط بعضَ انقراضات الأمِركتَيْنِ ولا ينطبق على الإطلاق على باقي العالم. كمثال، كانت حيوانات الكسلان العملاقة مُرْتَعينَ على أوراق الشجر والغصينات ويأكلون الشجيرات الخفيضة في البيئة الشبه صحراوية والتي كانت متاحة في المنطقة قبل وأثناء وبعد انقراضهم. وفي حال كانت كل الأمور كما نتوقعها، فإننا ينبغي أن نفضِّلَ فرضيةً أخرى إن كانت ستفسِّر بياناتٍ أكثَرَ ببساطةٍ أكثر.

لا شكَّ أن التغير المناخي منذ حوالي ١١ ألف عام ماضٍ كان سريعًا. إلا أن نفس أنواع الحيوانات كانت قد نجت من قَبْلُ من دستاتٍ أو أكثر من الأحداث المشابهة. لا يوجد شيء فريد من الناحية المناخية فيما يخصُّ آخر تراجع جليدي. فالتراجع الجليدي السابق عليه، منذ حوالي ١٢٥ ألف سنة، كان بنفس درجة الفجائية لكنه لم يُسَبِّبْ انقراضاتٍ. فإذا لم يتسبب التغير المناخي في انقراضاتٍ، فما الذي تسبَّبَ؟ إن مشكلة انقراضات عصر البليستوسين كانت ولا تزال يُتجادَل بشأنها باستمرار منذ اكتشاف حيوانات العصور الجليدية، ولا يزال هناك خلاف مستمر كبير.

تَدْعَمُ أقوى الأدلةِ فكرةً اقترحَها في صيغتها الحالية على نحوٍ رئيسيٍّ Paul Martin بولْ مارْتِنْ. حصلَتْ فرضيَّة القتل الجائر الخاصة بـ بول مارْتِنْ على اسمها بسبب تشديده على السلوك البشري وعلى وجه الخصوص الصيد. ففي كل الحالات، كان البشر المجتاحون صيَّادين ماهرين، يلتقون بحيواناتٍ لم تقابل البشرَ من قبلُ (انظر Martin، ١٩٩٠). عدَّدَ بول مارْتِنْ سبعة أنواع من الأدلة (المستطيل التلخيصي ٢١- ٤). جادل مارْتِنْ بأن كل الأدلة تتوافق مع فكرة أن الوصول المفاجئ للمجتاحين البشر في أنظمة إيكولُجِيَّة كان مسؤولًا عن الانقراضات. ربما لعبت نتائج لازمة أخرى لوصول البشر دورًا هامًّا، بالتالي لا ينبغي أنْ تقتصر فكرة مارْتِنْ على الصيد الجائر التي يُشَدِّد عليها أكثرَ شيءٍ. لاختبار فكرته، يمكننا أن نستخلصَ بياناتٍ من الثلاثة قارات الوحيدة التي استعمرها البشرُ فجأةً؛ وهي: الأمِرَكتَيْنِ الشمالية والجنوبية وأستراليا.

المستطيل التلخيصي ٢١– ٤ أدلة بول مارْتِنْ Paul Martin لصالح فرضيَّةِ القتل (الصيد) الجائر

١– تأثَّرَتْ [انضرَّت] الثدييات الكبار الأحجام والطيور القاطنو الأرض الكبار الأحجام أكثر. فقَدَتْ أمِركا الشمالية ٣٥ جنسًا، وفقدت أمِركا الجنوبيَّة أكثرَ من ذلك.

٢– حدثت الانقراضات في مناطق مختلفة في أزمنة مختلفة جدًّا.

٣– الحيوانات المنقرِضة لم تُستبدَل [بغيرها في الأدوار الاعتياشية الإيكولُجِيَّة].

٤– كانت الانقراضات مرتبطة على نحو وثيق زمنيًّا ومكانيًّا بوصول البشر.

٥– ظلت الثدييات الكبار الأحجام على نحوٍ أفضلَ في أفريقيا وآسيا. كانت الانقراضات أكثر شدةً بكثيرٍ في العالَم الجديد (أستراليا والأمِركَتَيْنِ).

٦– حيثما تكون الانقراضاتُ مؤرَّخة جيدًا، نرى أنها كانت فجائيةً تقريبًا. أمِركا الشماليَّة ونيوزيلاند هما أفضل مثالين.
٧– توجد أماكن قليلة جدًّا توجد فيها بقايا ثدييات مع بقايا البشر أو مصنوعات البشر. هذا يدل على أن التواجد المشترك كان قصيرًا.

الأمِرَكَتَيْن

وصول البشر

عَبَرَ البشرُ إلى أمِركا الشمالية من سيبيريا في زمنٍ كانت فيه منطقة مضيق بيرِنْجْ أرضًا يابسة جافّة، تُدْعَى بيرِنْجِيا Beringia. في أوج العصور الجلدية، كانت بِيرِنْجِيا سهلًا قارس البرودة تذرو ترابه ورماله رياح عنيفة [شديدة] آتية من عند حافة الصفيحة الثلجية. إلا أن حياة نباتية قطبية شمالية متنوّعة دعَمَتْ حياة حيوانية خاصة بالثدييات الكبار الأحجام الخاصين بالعصر الثلجي، بما في ذلك الماموثات ذوو الوبر والأحصنة والجمال والخراف والأيائل وثيران المسك والكسلانات الأرضية العملاقة ذوو الفرو كلهم.



ثور المسك من عائلة البقريات ورتبة مزدوجات الأصابع يتواجد في جرينلاند والأجزاء الشمالية القاحلة من أميركا الشمالية كما استُقدِمَتْ أعداد محدودة منها إلى النرويج والسويد وسيبيريا. وبعضها يعيش في كندا وجرينلاند وألاسكا

رغم ذلك، فقد كان بيرِنْج مفصولًا عن باقي أمِركا الشمالية بالصفائح الثلجية الخاصة بالدرع الكندي وجبال روكي، واللذان كانا يمتدان سويًّا فيما هو الآن ألْبِرْتا [في كَنَدا] (الصورة ٢١– ٤). انفتح ممرٌ إلى الجنوب خالٍ من الثلج إلى باقي الأمِركَتَيْنِ فقط عندما تراجعت الصفيحة الثلجية الكندية الرئيسية باتجاه

الشرق. لم يكن الحدث المهم في هجرة البشر هو وصولهم إلى بيرِنْجْ، بل عندما تجاوزوا الحواجزَ الثلجية إلى الأمِرِكتين المعتدلتين والمداريتين باتجاه الجنوب.

هل وصلَ البشرُ إلى الأمِرِكَتَيْنِ فقط عندما انتهى آخر عصر جليدي، أم كانوا قد فعلوا ذلك قبل ذلك بزمنٍ طويلٍ؟ توجد الآن أدلة مقنعة على أن البشر كانوا يعيشون في Monte Verde، في جنوبيّ تشيلي Chile، عند زمن ١٢٥٠٠ ماضية أو قبل ذلك. على الأرجح، كان هؤلاء الناس قد وصلوا عن طريق قارب على طول الساحل الأمِركي الغربي؛ توجد أدلة متناثرة على وجود مجموعة صيادي سمك أمِركِيِّين مبكِّرين جدًّا على طول الساحل الغربي في مواقع في كولومبيا البريطانية، جنوبيّ كاليفورنيا، وفي بيرو. يبدو أن هؤلاء الناس أكلوا المحَّارَ والطيورَ البحريَّة والأسماكَ البحرية. بقدر ما نستطيع أنْ نعْلَمَ فقد كان لهم تأثير قليل على الأنظمة الإيكولُجِيَّة الأَمِركِيَّة القاريَّة، وربما لم يغامروا حتى بالدخول إلى داخليّ البرِّ القاريّ [بعيدًا عن المحيط] عبر الحواجز الجبلية التي تقع خلف كل الساحل الغربي. لم تتعرَّضْ الأنظمة الإيكولُجِيَّة القاريَّة لتأثيرٍ بشريٍّ كاملٍ حتى زمن حوالي ١١٠٠٠ سنة ماضية، مع وصول صيَّادي الطرائد الكبيرة الأحجام في البر القاري.

لدى الأمِركِيِّين الأصليين الباقين على قيد الحياة بنية DNA متجانس إلى حدٍّ كبيرٍ، عى الأرجح لأنهم متحدرون من مجموعة صغيرة من المهاجرين الذين نجحوا في دخول الأمِركَتَيْنِ من خلال نوعٍ ما من عنق الزجاجة [الطريق الضيق] الفيزيائي الجغرافي. في النهاية دفع الأمِركِيُّون الأصليُّون ثمنًا رهيبًا هائلًا لذلك. فعندما وصل الأورُبيُّون ومعهم أمراض جديدة في عام ١٤٩٢م، كانت أي قابلية للإصابة بمرض معين عامة تقريبًا في المجموعة السكانية للأمركيين الأصليين. أهلكت الأمراض المستورَدة الكثيرَ من الأمِركِيِّين الأصليين، بينما كانت مجموعة سكانية ذات حوض جيني متنوع ستعاني على نحوٍ أقلَّ كارثيةً.

لكن متى وصلت الموجة الكبيرة من مستعمري القارتين الأمِركتين (بعد وصول مجموعة صيادي السمك)؟ فقد انتشرت حضارةٌ مميزة قصيرة الزمن من الأدوات والأسلحة_ حضارة Clovis_ سريعًا عبر أمِركا الشمالية من واشنطن إلى مكسيكو. تتلاقى كل التأريخات بالكربون المشع لمواقع حضارة Clovis في غربي الولايات المتحدة عند حوالي ١١٠٠٠ عام ماضٍ. كان المجتاحون صيّادين ماهرين جاهزين للثدييات الكبار الأحجام عبر السهول الشمالية البعيدة الخاصة بآسيا وبيرِنْجِيا.

في زمن قريب بعد ١١٠٠٠ عام ماضٍ، يوجد دليل على سكنى البشر عبر كل الأمِرِكَتَيْنِ. في ذلك الزمن، حلَّ محلَّ مصنوعات حضارة Clovis مجموعاتُ أدواتٍ أكثرُ تقدمًا وأكثر تنوعًا محليًّا، فقد اتَّخَذَ البشرُ طرقَ حياة متنوعةٍ تتلاءم مع المناطق المختلفة.

الحيوانات الكبار الأحجام

مع قُدُوم حضارة Clovis إلى الأمِرِكَتَيْنِ، نرى أدلةً على صيدٍ لحيواناتٍ كبار الأحجام. اصطاد الهنود الحمر القدماء الماموثات mammoths والمَسْتَدونات mastodons [كائنات من فصيلة الفيليَّات]. توجد علامات قَطْعٍ على عظام مستدونات عُثِرَ عليها قربَ حافة الصفيحة الثلجية قرب البحيرات العظمى [الأمِركية]، ويبدو أن البشر جزَروا الجثامينَ إلى كتلٍ كبيرة وخبَّؤوها للشتاء في المياه القارسة البرودة تحت البحيرات الضحلة المغطاة بالثلج، تمامًا كما يفعل الإنيُوتْ (الإسكيمو) في العصر الحالي في البيئات المشابهة. نستطيع أنْ نعرِف أن فصل صيد المستدونات المفضَّل لدى قدماء الهنود الحمر كان آخر الصيف والخريف، حيثُ أنَّ الوفيَّات الطبيعية كانت تحدث على نحو رئيسي عند نهاية الشتاء عندما تكون الحيواناتُ في ظرفٍ سيءٍ. يوجد بالهيكل العظمي لماموثٍ عُثِرَ عليه في Naco ثماني علامات من جزارة حضارة Clovis. وقد عُثِرَ على هياكل طفلَيْ ماموث وسبعة ماموثات بالغين مقتولين بأدواتٍ من حضارة Clovis قُرْبَ Colby في ولاية Wyoming الأمِرِكِيَّة، والطريقة التي كُوِّمَتْ بها العظام توحي بتخزين وإخفاء لحمٍ هناك أيضًا.

لا يمكن أن يكون قتل تلك الفيليَّات كان سهلًا بأي طريقة هجومٍ مباشرٍ. كان المَسْتَدونات ذوو كفاءة قاتلة باستعمال أنيابهم ضد بعضهم البعض (الصورتان ٢١– ٦ و٢١– ٧)، وتلك المهارة كان يمكن استعمالها في الدفاع الفعَّال ضد مفترِسيهم الطبيعيين. لكنَّ بشرَ حضارة Clovis كانوا قصة أخرى، فلكونهم مسَلَّحين بأسلحةٍ مرعبة وأفخاخ وسموم وتكتيكات صيد جماعي ذكي، تدمَّرَتْ أشكال الحياة الحيوانية الخاصة بالحيوانات الكبار الأحجام.

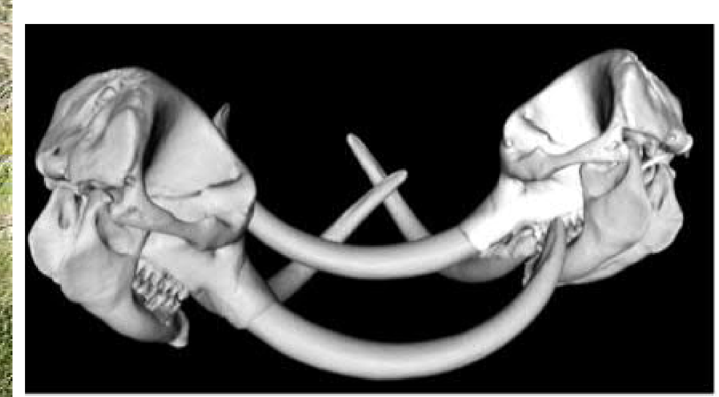
انقرضت آخر الماموثات في منطقة البحيرات العظمى [الأمِرِكِيَّة] وآخر خيولٍ شماليّ أمِرِكِيَّة متوطِّنة والكسلانات القاطنة للأرض والماعز الجبلي في جنوبي شرق أمِرِكا عند زمن حوالي ١١٢٠٠ سنة ماضية. وفي غربي تكساس، كانت الماموثات والخيول وثيران البيسون شائعةً وفيرة قبل زمن ١١٠٠٠ قبل الميلاد، لكنْ بعد ذلك نجد عظامَ بيسون فقط. عُثِرَ على هيكل عظمي لسلحفاة ضخمة منقرضة في نبع الماء المالح الضئيل Little Salt Spring في جنوبيّ شرق فلورِدا بها وتَدٌ مشحوذٌ [مسنونٌ] مكبوس بين الصدفة وعظمة الصدر. لقد قُتِلَتْ السلحفاة على نحو واضحٍ وطُبِخَتْ في الموقع بصدَفَتِها. وهناك كسلانات أرضية وثور بيسون وفيليٌّ صغير في نفس المستوى، لكنَّ قدماء الهنود الحمر [الأمِرِكيّين] أكلوا بعد ذلك الأيائل البيضاء الذيل.





الصورة ٢١– ٦ صورة ثلاثية الأبعاد لجمجة مَسْتُودون ذكر كبير الحجم، كما أعاد إنشاؤه Daniel Fisher و Gretchen Moeser.





الصورة ٢١– ٧ إعادة إنشاء لقتالٍ بين مَسْتُودُونين أمِرِكِيَيْنِ ذكرين بالغين. تقوم إعادة الإنشاء على التضرر الضخم لبعض متحجرات جماجم الذكور، والتي تدل على ضربات قاتلة أو شبه قاتلة على المنطقة المستهدَفة التي كان الناب يتوجَّهُ بضربةٍ عنيفةٍ تحت عظمِ الخدِّ باتجاه قِحْف الجمجمة.

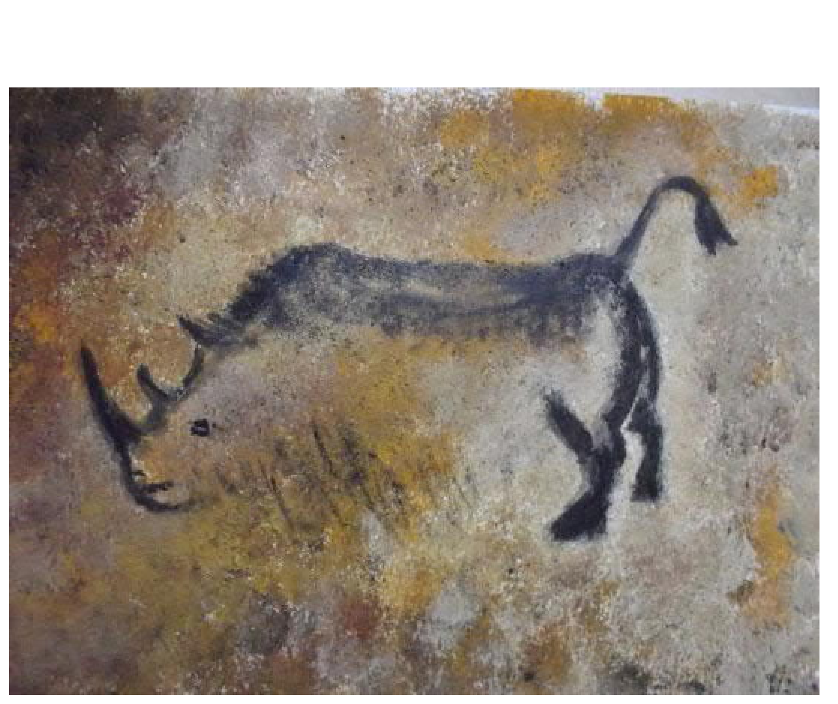
الحيوانات النباتيُّون الضخام والحيوانات المتوسطو الأحجام

لقد كانت هناك انقراضاتٌ في الثدييَّات المتوسطي الأحجام، رغم أنَّ المرءَ كان سيتوقَّع أنَّ بعضًا منهم (كمثالٍ، الجمال والخيول والأيائل) كانوا سيكونون مقاومين للانقراض بسبب سرعتهم ورشاقتهم وتكاثرهم السريع؛ حتى في مواجهة الصيَّادين الخبيرين.

الإجابة على هذا اللغز ربما توجد في الأنظمة الإيكولُجِيَّة التي تتضمَّنُ الحيوانات النباتيين الضخام (ثدييات نباتية كبيرة الحجم جدًّا أكثر من ٢٠٠٠ كجم [طنين] وزنًا). كمثالٍ، في سهول أفريقيا أكبر الحيوانات _الأفيال والخراتيت_ يمكن أن يكون لها تأثيراتٌ كبيرةٌ على النباتات. يُدَمِّر الأفيالُ الأشجارَ ويحوِّلونَ الغابات إلى أراضٍ مشجَّرة مكشوفة مما يتيح ممرات تتكاثر فيها الحيوانات المرتعِية الأصغر حجمًا. في النهاية، يحوِّلُ الأفيالُ أيَّ موطنٍ مَحليّ إلى أرضٍ عشبيةٍ، ثم يهاجرون إلى موطن مشجَّر آخر، تاركين الأشجارَ لتتعافى خلال دائرةٍ إيكولُجِيَّةٍ بعيدة المدى يمكن أن تستغرق عقودًا [عشرات السنين] لتكتمل. ويرتعي الخراتيتُ البيضُ بكفاءةٍ عاليةٍ بحيث يتيحون مناطق كبيرة من أراضي الأعشاب والحشائش القصيرة للحيوانات المرتعِية الأصغر حجمًا.

بالتالي، على المدى الطويل، تحافظ الحيوانات النباتية الضخمة على وجود مواطن مكشوفة فيها تستطيع حيوانات السهول الأصغر حجمًا الحفاظَ على مجموعات سكانية كبيرة. بينما مع كون الفيليَّات قد انقرضَتْ منذ عقودٍ، فإن نمو الغابات الكثيفة مَنَع وجود مناطق ارتعاء على الأوراق والغصينات وعلى الحشائش، فانقرضت الحيواناتُ الأصغرُ حجمًا أيضًا محليًّا. الكثير من المشاكل في الحدائق [المحميات] الأفريقية الوطنية في العصر الحالي تحدث لأنها ليست كبيرةً على نحوٍ كافٍ للسماح بحدوث هذه الدورات من التدمير والهجرة على نحوٍ طبيعيٍّ.

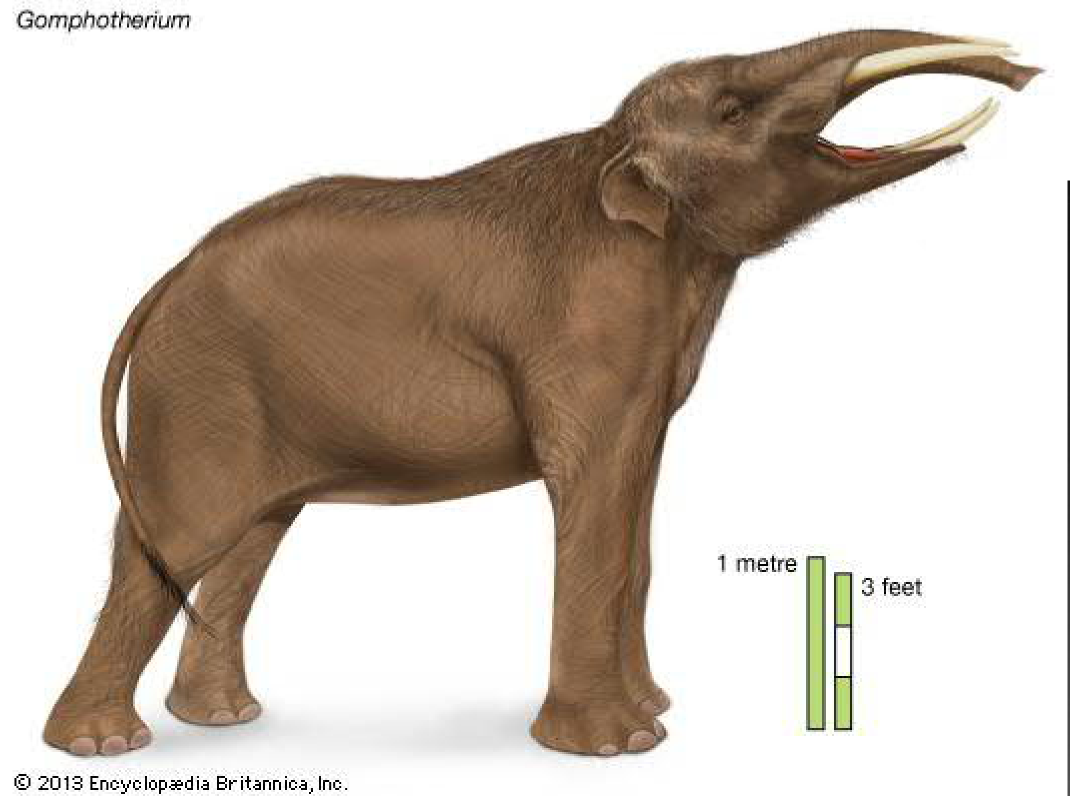
لكنْ ماذا سيحدث لو أُزيلَتْ الحيوانات النباتية الكبار بالكامل من نظامٍ إيكولُجِيٍّ، عن طريق الصيد كمثالٍ؟ تتكاثر الحيوانات النباتية الضخام ببطءٍ ولا تستطيع الاختباء. فقد كانوا معرَّضين على نحوٍ خاص لخطر الصيَّادين الماهرين. اقترَحَ Norman Owen Smith أن اندثار الحيوانات النباتية الضخمة الخاصة بعصر البليستوسين (الصورة ٢١- ٨) سرعان ما أدَّى إلى النمو السريع للكثير من المواطن، مما قلَّلَ من المجموعات السكانية للحيوانات الأصغر حجمًا الخاصة بتلك المناطق أيضًا. بالتالي، فحتى لو كان الصيَّادون المبكِّرون اصطادوا القليلَ فقط من أنواع الحيوانات النباتية الضخام أو اضطروها للرحيل، فكان يمكن أن يدفعوا الأنظمة الإيكولُجِيَّ بعيدًا للغاية عن التوازن بحيث أن الانقرضات كانت ستحدث بعدئذٍ في العواشب المتوسطي الأحجام أيضًا، وخاصةً لو اضطر الصيَّادونَ للتحوُّلِ إلى أولئك الأخيرين [أيْ: العواشب المتوسطي الأحجام] كفرائس عندما كان الحيوانات النباتيين الضخام قد انقرضوا.

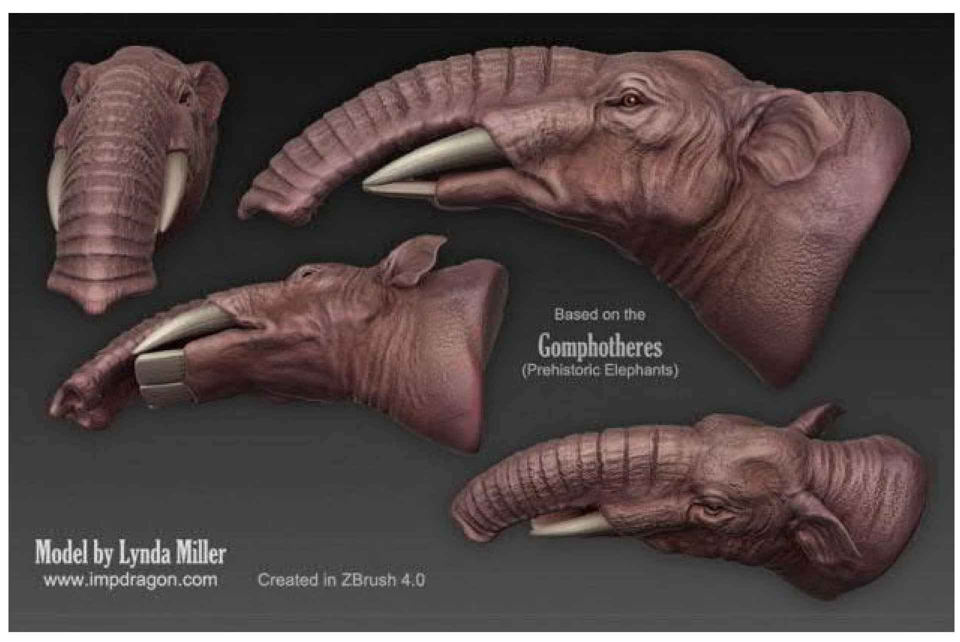




الصورة ٢١- ٨ حيوانات نباتية ضخمة من عصر البليستوسين. لا نحتاج إلى الاعتماد على الاستدلالات الخاصة بعلماء المتحجرات لإخبارنا بأنه كان يوجد حيوانات نباتية ضخمة في الأنظمة الإيكولُجِية الخاصة بعصر البليستوسين. فقد لاحظَهم وصوَّرَهم "الإيكولُجِيُّونَ الأكِفَّاء" في ذلك العصر. (مماثلة للصورة ٢٠- ١٥).

ربما كان هناك تأثيراتٌ أكثرُ دقةً لإزالة الحيوانات النباتيين الضخام. أحيانًا تتطوَّرُ النباتاتُ تطوُّرًا مشتركًا مع الحيوانات النباتيين الضخام اللذين ينشرون بذورَها. يُرَجَّحُ أنْ تُشَجِّعَ الحيواناتُ النباتيُّون الكبار الأحجام جدًّا على تطور فواكهٍ كبيرةٍ سميكة القشرة، فكان الانقراض المفاجئ لهم سيتركها بدون ناشرين لبذورها. حتى العصر الحالي، تُنتِجُ أشجارُ أذن الفيل (caro caro, or elephant-ear tree) guanacaste [من فصيلة البازلاء من البقوليَّات] الخاصة بأمِركا الوسطى نتاجًا ضخمًا من الثمار الكبيرة الأحجام، معظمها تقع وتتعفَّن. اقترحَ Daniel Janzen أن تلك الفواكه تطوَّرَتْ تطوُّرًا مشتركًا مع فيليَّات كبار الأحجام (gomphotheres)، واللذين انقرضوا مع الثدييَّات الكبار الأحجام الآخرين (انظر ورقتَه البحثية في كتاب Martin and Klein، ١٩٨٤م).







المفترِسون والمتَقَمّمون

يمكن أن تكون الأنواع المفترِسة كالقططيَّات السيفيي الأنياب (الصورة ٢١– ٩) والأسد الشماليّ الأمِركيّ قد انتُقِصَتْ إلى مستوياتٍ منخفضةٍ على نحوٍ خطيرٍ نتيجةَ إزالةِ فرائسهم بالصيد الجائر؛ لا حاجةَ بنا إلى التفكير على أساس الصيد الجائر المباشر المنهجي للأنواع المفترِسة مثل الذي كثيرًا ما ينفّذُه البشرُ المعاصرون. وبدورهم، ربما اعتمد المُتَقَمِّمونَ [القمَّامون] أيضًا على المجموعات السكانية للثدييات الكبار الأحجام لتوفير الجثث التي يتغذُّون عليها. بالتالي، انقرضَ teratorn [الطير الوحشيّ] الضخم المعروف من متحجراته من حُفَر قطران لا بيرا La Brea tar pits (راجع الصور١٣– ٢)، وإن ما يعرف بُكُندور أو نسر "كاليفورنيا" كان قديمًا يعشّشُ نوعه في منطقةٍ تمتد من ساحل المحيط الهادئ إلى فلورِدا [الأمِركية]. تحتوي كهوف عصر البِلَيسْتُوسِينْ العالية فوق الجُرُفِ [المنحدَرَات] العموديَّة في الوادي أو الأخدود العظيم في أريزونا على عظام وريش وقشر بيض خاص بهذا النسر [الكُنْدور]، بجوار عظام الأحصنة والجمال والماموث والماعز الجبلي المنقرض. اندثر هذا النسرُ من هذه المنطقة في نفس وقت اندثار الثدييات الكبار الأحجام، ربما لأن إمداده الغذائي اختفى في معظمه.




(أ)



(ب)

الصورة ٢١- ٩ (أ) Smilodon [يعني اسمه سيفيّ الأنياب]. توجد متحجرات هذا القططي السيفي الأنياب بأعداد كبيرة ضمن متحجرات عصر البِلَيسْتوسين في حفر قطران لا بيرا في لوس أنْجِلُس. لقد كان مفترسًا رئيسيًا في الأنظمة الإيكولُجيَّةِ [الاعتياشية] الخاصة بأمِركا الشماليَّة، وتعتبره ولاية كاليفورنيا متحجرة الولاية حاليًّا. (ب) مسح مقطعي كمبيوتري لجمجمة قطة. قارن بينهما بعنايةٍ وسترى أنه من حيث مناسيب الأبعاد، يختلف هذا القطَّان فقط في الحجم المستطال للنابين العلويين الخاصين بـSmilodon.

الناجون

ماذا عن الثدييات الكبار الأحجام الناجين في أمِركا الشمالية؟ يتَّضِح أن الكثير منهم كانوا في الأصل أوروآسيويّين وعبَرُوا إلى الأمِركَتين متأخرًا في عصر البِلَيسْتُوسين. بالتالي، فإن الدببة والموظ moose وثيران المِسك والرَنَة [أيل شماليّ أمِركيّ] caribou كانت قد تعرَّضَتْ للصيد البشري في قارة أوراسيا قبل ١١ ألف سنة. لم يكن هناك انقراضات شماليّ أمِركِيَّة بعد زمن ٨ آلاف سنة ماضية على الأقل، ربما عندما تطوَّرَ توازنٌ مستقرٌّ جديدٌ. كانت هناك حضارات محليَّة مستقلَّة في الأمِركَتَيْنِ في ذلك الزمن، لكنْ لم يكن هناك انقراضات جديدة هامة رغم أن الأدوات والأسلحة كانت قد تحسَّنَتْ.

ثيران البيسون حالة خاصة. لقد كانوا متوطِّنين في أمِركا، ورغم أن البيسون الضخم الطويل القرنين انقرض (الصورة ٢١- ١٠)، فإن نوع البيسون الأصغر حجمًا بقي على قيد الحياة بأعدادٍ كبيرة. ربما شجَّعَتْ إزالةُ المتنافسين الأكبرِ حجمًا على هذا النجاح. علاوة على ذلك، بقي البيسون على قيد الحياة في مواجهة الصيد الشديد الجائر المبذِّر من جانب قدماء الأمِركِيين الأصليين، الذين لم تكن وسائلهم حكيمة إيكولُجيًّا بالقَدْرِ الذي يدَّعِيه أحفادُهم أحيانًا. كشَفَ موقعٌ مدروسٌ جيدًا في كندا أن قدماء الأمِركِيّين الأصليّين _بقيامهم بالصيد وهم على أقدامهم مع الأسلحة الحجرية_ كانوا يدفعون قطعانًا كاملة من ثيران البيسون إلى الفرار الجماعي على طول طرق مخطَّطة مسبقًا والتي تؤدِّي إلى حافة منحدَر [جُرفٍ] أو إلى سقوط الثور. ثم كان يُقضَى على الثور ويُجْزَر عند قاعدة المنحدَرِ. أدَّتْ هذه العمليةُ على نحوٍ طبيعيٍّ إلى وفيَّات الكثير من الثيران الصغار السن، فحوالي ربع الثيران المقتولة فقط كانوا كاملي النموّ. كان ذلك الموقع _الذي سُمِّيَ على نحوٍ مناسبٍ بموقع انسحاق الرؤوس Head-Smashed-In_ قد استُعْمِلَ لأكثر من ٥ آلاف سنة عندما صار مهجورًا عندما وصلت الأسلحة النارية للقبائل في القرن التاسع عشر. بالنظر إلى أن هناك دستاتٍ من مواقع سقوط الثيران المنتشرة في كل السهول الكبرى Great Plains من ألْبِرْتا الكندية إلى تكساس الأمركية، معظمها لا تزال تُفْحَصُ، يبدو أن ما هو أقل مفاجَأةً أن البشر قادرون على الصيد الجائر الذي يقترحه سجل المتحجرات، وما هو أكثر مفاجَأةً هو أن ثيرانَ البيسون تكيَّفَت بنجاحٍ للغاية مع ضغط الافتراس البشري لهذا الزمن الطويل.



Bison latifrons
Afinidad: Bovinos
5m de largo, 2.5m de altura, 2,000 Kg
50cm

BISON DEATH ON A GEORGIA FLOODPLAIN
2009/03/24 13:02

Sam Noble Museum
متحف سام نوبل

Skull at the Royal Tyrell Museum in Drumheller, Alberta, Canada
متحجرة جمجمة في متحف تيرل الملكي في درَمهيلر في أليرْتا في كندا

الصور ٢١- ١٠ متحجرات وإعادات إنشاء لثور البيسون الطويل القرنين الضخم Bison latifrons من عصر البليستوسين في سهول أمِرِكا الشمالية.



أنواع من البيسون الحي المعاصر الأصغر حجمًا من الأنواع المنقرضة

أستراليا

عانت أستراليا من انقراضاتٍ أشدَّ من أيّ كتلة أرضية بحجم قارة. لقد فقدت كل فقاري بري أكبر حجمًا من الإنسان. لقد فقدت سلحفاةً قرناءَ بحجم سيارة، وطيورَها الضخمة الدرومورنيثيَّات dromornithids [الطيور الراكضة] (راجع الفصل ١٨). وقد فقدت مفترسيها الذين كانوا في أعلى الهرم الغذائي، بما فيهم Megalania [المفترِس أو المُمَزِّق الأكبر]، أكبر سحليَّة بريَّة مما تطوَّرَ على الإطلاق، وكان طولها ٧ أمتار (٢٤ أقدام). كان Megalania ذا قرابةٍ تطوريةٍ لسحلية تنين كومودو المعاصرة لكنه كان يزِنُ أكثر من ثمانية أضعاف وزنِها. من المفترِسين الآخرين كان هناك تمساحٌ بريٌّ ضخم وكانجارو لاحِم [مفترِس] وثعبان بيثون python طوله ٥ أمتار (١٦ قدمًا). وقد فقدت أستراليا حوالي ٢٠ نوعًا من الجِرابِيَّات الكبار الأحجام، بما في ذلك كل ثنائيات الأسنان الأمامية أو ذوات السنين الأماميين السفليين الطويلين diprotodonts، وهم آكلو نباتات سائرون على أربع ذوو حجمٍ كحجم التابيرات والخراتيت، ووُمْبَتٌ بحجم بقرة، وأكبر كانجارو [كنغر] على مر الزمن، وهو Procoptodon [نترجمه إلى الكانجارو الضخم، ومعنى الاسم حرفيًّا الأسنان المعثور عليها في أعلى التلة]، والذي كان مرتعيًا على أوراق الشجر والغصينات وذا طول ٣ أمتار ارتفاعًا وكان المعادل الإيكولُجِيّ [الاعتياشي] للتابير أو

الكسلان العملاق القاطن الأرض. لم تنجُ سوى أنواع قلائل من الحيوانات الكبار الأحجام في أستراليا، لكن أنواع الحيوانات الأصغر حجمًا كانت أقل تضرُّرًا.

تؤرَّخُ الانقراضاتُ في أستراليا فيما بين ٤٥ ألف و ٥٠ ألف سنة ماضية، وهو زمن يتوافق _بقدر ما نستطيع أن نعلَمَ_ مع وصول البشر إلى أستراليا. اندثر الطائر الراكض [dromornithid الدروموريني أو الرعديّ] البطيء الركض المسمَّى بنوع Genyornis من مواطنِهِ، بينما نجت طيور الإيمو السريعة الركض، لكنْ يبدو أنَّ هناك ذكرى للطيور الرعدية dromornithids في الأسطورة الخاصة بالسكان الأصليين باسم mihirung.

تزامنت الانقراضات تقريبًا مع تغيرٍ في النباتات مترافقٍ مع حرائق متزايدة. لم يكن ذلك زمنَ تغيرٍ مناخيٍ، بالتالي فإن الحرائق المتزائدة ربما سبَّبَها الأستراليُّون الأصليُّون المبكِّرون. فقد هاجروا إلى نظامٍ إيكولُجِيٍّ خاصٍّ ببلدٍ أكثرَ جفافًا لم يكن معتادًا لهم لأنهم جاءوا من النظامِ الإيكولُجِيِّ الاستوائيِّ الأكثرِ رطوبةً الخاص بنيو جينيا. لقد احتاجو أنْ يتعلَّموا ببطءٍ كيفية التكيُّفِ مع الظروف الأسترالية الأكثرِ جفافًا، تمامًا كما احتاجهًا الأورُبيُّون ذلك بعد عشرات آلاف السنوات لاحقًا.

إحدى أسهل الطرق لإزالة النباتات الأسترالية هي حرقها؛ فالحرق يجعل رؤيةَ وصيدَ الطرائدِ أسهلَ، ولدى الأستراليين الأصليين في العصر الحالي جداول مواعيد معقَّدة للحرق الموسمي الواسع للأَجَماتِ والذي له تأثيرات كبيرة درامية على الإيكولُجِيَّة المحليَّة. بالتالي، فعلى الأرجح كانت الانقراضات الأسترالية النتيجةَ المباشرةَ للاجتياحِ البشريّ، من خلال إدخال الحرق بمستوى واسع وكذلك الصيد.

على أساس هذا الدليل من ثلاث قارّاتٍ، يبدو أن فرضية مارْتِنْ الخاصة بتأثير البشر أقوى من الفرضيات الأخرى. والآن سوى ننظر إلى كتل أرضية أصغر والتي كانت عرضةً لنفس التأثير البشري تقريبًا ونرى كيف تطورت أحوالها على نحو مختلف إلى حدٍّ ما.

الانقراضات في الجُزُر

كثيرًا ما يمكن لحيوانات الجزر التطور إلى مجموعات فريدة من الكائنات، ويمكن أن يكون للتغيرات الجغرافية التي تربط مناطق كانت معزولةً عن بعضها سابقًا تأثيراتٌ درامية [كبيرة مفاجئة] ومدمِّرة على الأنواع والمستعمَرات الحيوية (راجع الفصل ١٨). كثيرًا ما كان لوصول البشر تأثيرٌ كارثيٌّ على الحياة الحيوانية الخاصة بالجزر. إن الأنواع في العالم أقل عددًا بما قد يكون حوالي ٢٥% مما كان فيه منذ بضعة آلاف من السنوات الماضية، وقد حدثت معظم هذه الانقراضات على الجُزُرِ. كمثال، أبادَ التازمانيُّون الأصليُّون نوعًا فريدًا من البطريق في زمنٍ ما بعد القرن الثالث عشر، قبل ٦٠٠ سنة من إبادتهم هم بدورهم على يد المستوطِنين الأورُبيين.

وعلى مدغشر، اندثر الليمورات الكبار الأحجام والسلاحف البرية الضخمة والطيور الفيلية الغير طائرة الضخمة (راجع الفصل ١٣) بعد وصول البشر في زمنٍ يتراوح بين ٠ و ٥٠٠ سنة بعد الميلاد. هناك أيضًا، قُلِّصَتْ مساحاتُ مناطق الغابة الكبيرة وحُرِقَتْ لتصيرَ أرضًا عشبيّةً أو أرضًا قاحلةً عقيمًا مدمَّرة. لم يبقَ على قيد الحياة أي فقاري بري متوطن أثقل وزنًا من ١٢ كجم (٢٥ رطلًا) بعد زمن ألف سنة ماضية. استغرقَ البشرُ زمنًا طويلًا ليتغلغلوا ويؤثِّروا في غابة هذه الجزيرة الكبيرة، وربما استغرقت الانقراضاتُ حوالي ألف سنة بدلًا من أنْ تكونَ فجائيَّةً. إنه واضحٌ أن وصول البشر كان "وصفة أو طريقة للكارثة" كما وصف David Burney الأمرَ في عام ١٩٩٣م. إن الخراب والجَدْبَ الشديد لمعظم ريف مدغشقر في العصر الحالي يؤكِّد على حقيقة أن البشر لا يزالون منخرطين في تدمير للغابات في نوع من تدمير الذات، على الرغم من الأدلة المحيطة بهم الدالّة على النتائج اللاحقة المروِّعة.

وعاش حيوانٌ جِرابِيٌّ بحجم الباندا في نيو جينيا في عصر البِلَيسْتُوسِين المتأخر، ورغم أنه انقرض، فإن النباتات التي كان يأكلها لا تزال تزدهر.

تدل اكتشافات جديدة لطيور غير طائرة منقرضة في هاواي بأن الانقراضاتِ المدمِّرة تلَتْ وصول البولينزيّين. إن جزر هاواي مشهورة بطيور honeycreepers [ممتصّي الرحيق]، والتي تطورت هناك إلى أنواع كثيرة على غرار براقيش دارْوِن على جزر جالاباجوسْ Galápagos. لكنْ كان هناك ١٥ نوعًا أكثر من ممتصي الرحيق قبل وصول البشر. لقد أباد البولينزيون ثلثي الطيور على جزيرة ماوي Maui، على الأرجح بمزيجٍ من الصيد

والحرائق ووصول الفئران. وكما في نيوزيلاند (المستطيل التلخيصي ٢١– ٥)، فإن الانقراضات التي تلت وصول الأورُبيين كانت شديدةً لكنْ ليست بنفس الشدة، على الأرجح لأن الحياة الحيوانية للطيور كانت قد استُنْزِفَتْ من قبلُ.

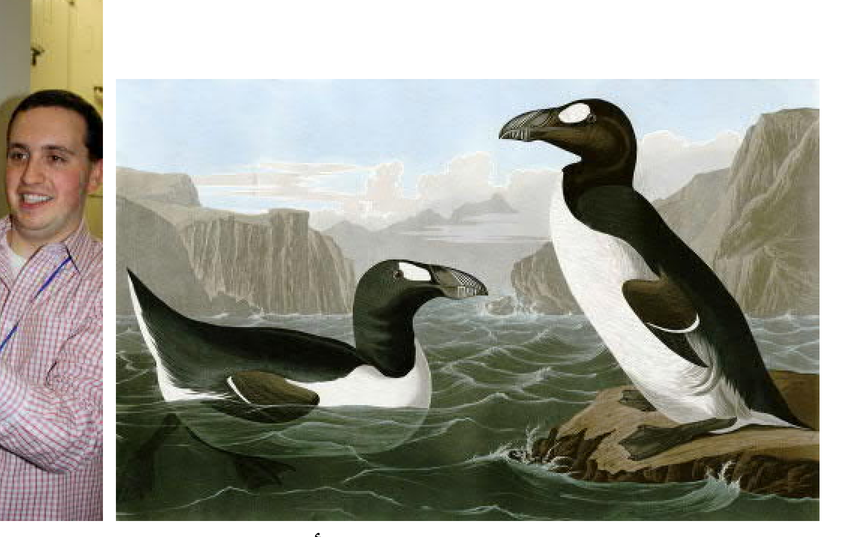
نفس العملية مسجَّلة في كل جزر المحيط الهادئ تقريبًا في ميلانيزيا Melanesia وبولينزيا Polynesia وميكرونيزيا Micronesia. كلها تقريبًا كان بها على نحوٍ واضحٍ أنواع طيور غير طائرة أبادَها وصول البشر و/ أو مرافقيهم من الفئران والكلاب والخنازير والنيران. ما قد يصل إلى ألفي نوع من الطيور أبيدَتْ عندما انتشرت هجرة البشر عبر المحيط قبل وصول الأورُبيين. ربما ليسَتْ مصادفةً أن تشارلز دارْوِن ألهمَهُ التنوُّعُ على جزر أرخبيل جالاباجوس؛ فهي لم يقطنها البشرُ قط قبل اكتشاف الأوربيين لها في عام ١٥٣٥م، وكان تأثير البشر ضعيفًا نسبيًّا حتى وصول صيَّادي الحيتان بقوة حوالي ١٨٠٠م. حدث في الكثير من الجزر في البحر الأبيض المتوسط (قبرس وكريت مثالان جيدان) "تجارب تطورية" بديعة بعد العصور الجليدية. لقد كان هناك أفيال أقزام وبرانيق [أفراس نهر] أقزام وقوارض ضخمة وأيائل ضخام. لقد تطورت تلك الثدييَّات على تلك الجزر المعزولة بنفس الطريقة التي تطورت بها الحياة الحيوانية القديمة على جارْجانو Gargano الإيطالية أثناء عصر المَيوسين [الحديث الأوسط] (راجع الفصل ١٨). اندثر الكثير من حيوانات الجُزُر عندما اكتشف بشرُ العصر الحجري الحديث كيفية عبور مسافات واسعة من البحر واستعمار الجُزُرِ منذ عدة آلافٍ من السنوات.

أباد الأورُبيُون طائرَ الدودو dodo على جزيرة موريشيوس Mauritius (الصورة ٢١– ١١) والعديد من أنواع السلاحف البريَّة الضخمة هناك وعلى جزر أرخبيل جالاباجوس، وبتضافر ذلك مع الحرائق المتعمَّدة، وما جلبوا من من ماعز وخنازير وفئران، أتمُّوا قدرًا كبيرًا من الدمار [الهلاك] للنباتات والطيور والحيوانات الثديية والزاحفة الأصلية المتوطِّنة. لقد أبادوا طائر الأوك auk الكبير الحجم الخاص بشمالي المحيط الأطلسي، وطائر الهويا huia وطيورًا صغار الأحجام آخرين خاصين بنيوزيلاند (المستطيل التلخيصي ٢١– ٥)، وعددًا غيرَ معلومٍ من أنواعِ عصافير الجنة في نيو جينيا، كل ذلك لإشباع جشع جامعي البيض والريش. وقد دفعوا الثدييات المغطَّاة بالفرو إلى حافّة الانقراض على مستوى العالَمِ.









طائر الأوك الكبير، عينتان من العينات المحنَّطة في متاحف العالم، وإعادات بناء









الصور ٢١- ١١ طائر الدودو الذي عاش على جزيرة موريشيوس. لقد اصطاد هذه الحمامةَ الغيرَ طائرةٍ الضخمة البحَّارةُ الأورُبيُّون القرِمون (الجائعون للحم) حتى انقرضت. لا نمتلك منه اليومَ سوى مومياواتٍ جافةٍ في المتاحف والقليل من الرسوم له.

بلا فارقٍ من حيث اختلاف جنس ولون وعقيدة البشر، فإن وصول البشر إلى وسط مستعمرة من الحياة النباتية والحيوانية غير معتادة على ضغط الصيد أو الحرائق الواسعة أو الفئران والقطط والخنازير والماعز يعني كارثةً. أحد العوامل المشترَكة بين الأنواع الضحايا هو السذاجة. لقد وصف تشارْلِزْ دارْوِنْ Charles Darwin افتقادَ حيواناتِ جُزُرِ جالاباجوسْ Galápagos التامَّ للخوفِ من البَشرِ، وهي صفة عامة تقريبًا للكائنات الحية التي لم تتعرَّضْ من قبل للصيد البشري قط، وقد سجَّل مراقبون معاصرون مثل Tim Flannery نفسَ السلوك. لم ترَ الكائناتُ الحيةُ القاطنة في نيوزيلاند قط ثدييًّا قبل وصول البولينزيين [من بني البشر].

المستطيل ٢١– ٥ حالة للدراسة: نيوزيلاند

منذ ألف سنة، كانت نيوزيلاند مجموعة معزولة من الجزر بدون ثدييَّات (ما عدا نوعين من الخفافيش). كانت الطيور هي الفقاريات المهيمنة، وكان أكبرُها طيورَ المُوا moas، والتي كانت طيورًا غير طائرة مرتعية على الأوراق والغصينات في حجم النعام (راجع الفصل ١٨) (الصورة ٢١– ١٢). نجت طيور المُوا وكائنات حية متوطِّنة أخرى من العصور الجليدية التي جاءت ومضت، إلا أنهم انقرضوا خلال عدة مئات من السنوات بعد وصول الشعب الماوري Maori البولينزي الذي وصل بعد عام ١٠٠٠ م.

يبدو أن هناك سببين رئيسين للانقراضات، وكلاهما مرتبطان بوصول البشر. أولهما، أن الأدلة على الصيد البشري واضحة ومروِّعة. تتراكم في مواقع مزابل البشر القديمة الممتد كل منها على مساحة فدادين [هكتارات] عظام طيور الموا، مع أدلة وفيرة على الجزارة المبذِّرة. العظام محشودة في بعض المواقع لدرجة أنها لاحقًا استُخْرِجَتْ من مواقعها لطحنها واستعمالها كسماد. تحتوي المزابل القديمة على عظام ١١ نوعًا من الـ ١٢ نوعًا الخاصين بطيور الموا، وهي تحتوي أيضًا على عظام تِوَتَارات [طِواطريَّات] وهي زواحف بدائية جدًّا. ثانيهما، أن الشعب الماوري Maori جلب معه الفئرانَ، والتي تأكل الحشراتِ مباشرةً، وتُبِيد الزواحفَ بأكل صغارهم، وتُفنِي الطيورَ بسرقة أعشاشهم. أبادت الفئرانُ على وجه الخصوص معظم زواحف التواترات وحشرات الويتا wetas الضخمة الغير طائرة (والتي كانت تشغل الدور الاعتياشي الإيكولُجِي الخاص بآكلات النباتات الصغيرة الأحجام في نيوزيلاند، راجع الفصل ١٨)، والكثيرَ من أنواع الطيور الغير طائرة، بما في ذلك الكاكابو kakapo الببغاء الوحيد الغير طائر. وقد كانت هناك تغيراتٌ إيكولُجيَّة أخرى أدقُّ. كمثالٍ، انقرض نسرٌ ضخمٌ والذي كان يفترس على الأرجح طيور الموا معهم. وعندما انقرضت طيورُ الموا، اتَّخَذَت قبائل الماوري Maori أسلوبَ أكل لحم البشر على نحو جديٍّ خطرٍ، لأن البشرَ كانوا أكبر حِزَمٍ بروتينية متبقِّية.



انقرض نصف العدد الأصلي لأنواع الطيور في نيوزيلاند قبل وصول الأورُبيين، وعمل المستوطِنون الجدد فقط على زيادة التغيرات في طبيعة وبيولُجِيَّة نيوزلاند. أزيلت الغاباتُ بسرعةٍ أكثرَ، وجُلِبَتْ ثدييات جديدة. كانت الفئران الأورُبيَّة أسوأَ الجُناةِ على الطيور الأصليَّة المتوطِّنة، لكنَّ القطط والكلاب والخنازير كانوا أيضًا مدمِّرين، ودمَّرَت الأرانبُ الكثيرَ من موطنهم، وتنافست الأيائلُ مع الطيور المرتعية على الأوراق والغصينات. لا تعيش زواحف التِوَتَارا أو الطِواطر في العصر الحالي سوى على جزر صغيرة قليلة خالية من الفئران، ولا يزال ببغاء الكاكابو يعيش في أماكنَ نائيةٍ في وضع خطرٍ متقلقلٍ بفعل القطط البريَّة [الوحشيّة]. لا تزال أعداد المجموعات السكانية للطيور الأصلية المتوطنة تنخفض رغمَ الجهود المبذولة لإنقاذها والحفاظ عليها.

كصورة أو نموذج مصغَّر من المشكلة، تأمَّل في عصفور النمنمة أو الصعو [wren عصفور صغير الحجم] الخاص بجزيرة ستيفِنْ Stephen Island، وهو العصفور المغرِّد الغير طائر الوحيد من كل ما قد تطور على الإطلاق. كان هذا النوع قد أبادَت معظمَه من نيوزيلاند الفئران التي أتت مع البولينزيين قبل وصول الأورُبيين. أما كامل المجموعة السكانية الخاصة بهذا النوع، والتي كانت مقتصرة الوجود على جزيرة واحدة، فقد اصطادَها وقتلَها قططٌ من النوع الوحشي البري، أتت مع رحلات استيطان الشعب الماوري Maori ثم الأورُبيين.



وأبادَتْ مستعمَرةٌ من المحكوم عليهم أسَّسها البريطانيُّون طيرًا بحريًّا متوطِّنًا على جزيرة Norfolk، بين أستراليا ونيوزيلاند. نجحت أنواعٌ عديدةٌ من الطيور الصغار الأحجام المتوطِّنين من البقاء على قيد الحياة على نحو أفضل لفترة على جزيرة اللورد هاو Lord Howe Island، الواقعة أبعدَ إلى الشمالِ، وعاشوا بجوار المستوطِنين المبكِّرين، حتى مكَّن حطامُ سفينةٍ الفئرانَ من الوصول إلى الجزيرةِ في عام ١٩١٨م. وخلال سنواتٍ قلائل اندثرت خمسةُ أنواعٍ تمامًا.



الصورة ٢١– ١١ أحد طيور الموا الخاصة بنيوزيلاند

طائر الدو The Du

اكتُشِفَتْ عظام طيور كبيرة جدًّا منذ بضع سنوات على جزيرة بينِس Pines الصغيرة، قربَ نيو كاليدونيا[1]. لقد سُمِّيَتْ المتحجرةُ Sylviornis، ورغم أنه كان كبير الحجم، فإنه لم يكن من مسطَّحات الصدر ratite، بل من الطيور ذوات الأرجل الثقيلة أو الشقبانيات الكبيرة Megapod[2]. ذوات الأرجل الثقيلة هي أسرة من الطيور تتضمن دجاج mallee (leipoa) الأسترالي وتنتشر في شرقي إندونيسيا وأستراليا. لا يوجد طير يعيش في أي مكان بحجم مقارب لذلك على نيو كاليدونيا. بالتالي فإن Sylviornis انقرض (الصورة ٢١– ١٣)، وتؤرَّخ بقاياه بحوالَيْ ٣٥٠٠ سنة ماضية، عندما كان البشر قد وصلوا جزيرتَه بالفعل.

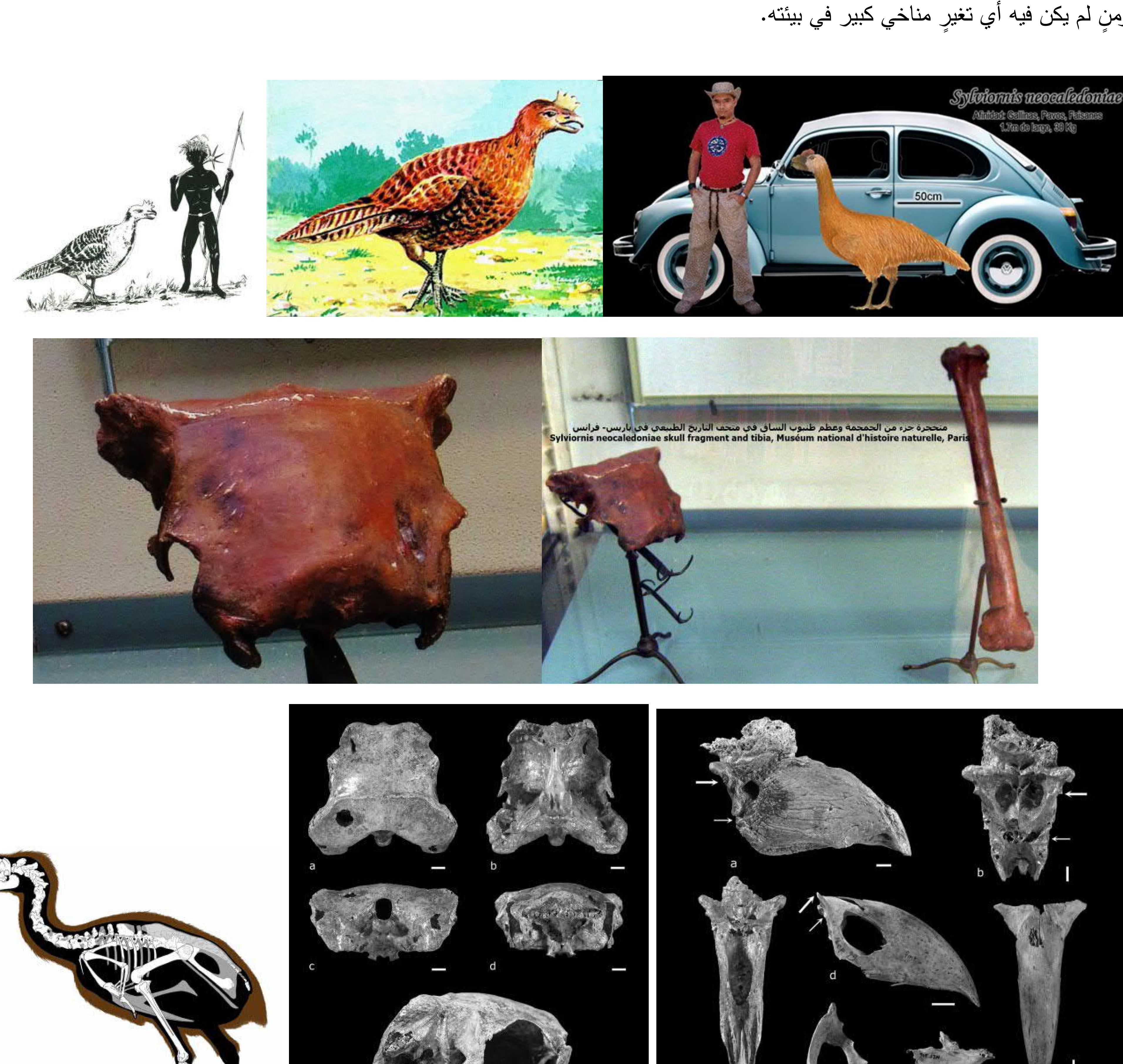
تصف القصص التراثية الفلكلورية الميلانيزية من جزيرةِ بينِسْ Pines الصغيرة طيرًا أحمرَ ضخمًا، يُعرَف بالدو Du، والذي كان يضع بيضة واحدة ولا يجلس عليها لتفقس. رغم أن الميلانزيين لم يعرفوا تلك المعلومة في زمن قصهم للقصة، فهذا سلوك فريد خاص بالطيور الثقيلة الأقدام [الشقبانيَّات]، والتي تضع بيضَها وتغطِّيه بنباتاتٍ متعفِّنةٍ للحفاظ عليه في درجة حرارة دافئة منتظِمة. يحافظ الذكرُ على تحكم مُحْكَم في درجة حرارة البيض بتعديل مزيج الكومة كل ساعة تقريبًا طوال اليوم لأسابيعَ. بالتالي فإن طير الدو كان هو Sylviornis، وتُرينا الأسطورةُ أنه كان معروفًا للبشر المبكِّرين.

---

[1] New Caledonia كاليدونيا الجديدة، تجمع خاص تابع لفرنسا يقع في أوقيانوسيا أيْ ضمن جزر المحيط الهادئ الاستوائية في جنوب غرب المحيط الهادئ على بُعد ١٢١٠ كم (٧٥٠ ميلًا) إلى الشرق من أستراليا.

[2] الشقبانيات الكبيرة Megapod التي لا تطير القاطنة لأستراليا ونيو جينيا [طيور من رتبة الدجاجيات، لا تطير حاضنة لبيضها وبانية للأكوام. مواطنها الطبيعية في أستراليا ونيو جينيا وإندونيسيا وجزر أندمان ونيكوبار في خليج البنغال]،

توجد في جُزَيِّرة بينِسْ Pines مناطق واسعة مغطاة بأكوام كبيرة غامضة، لا تترافق أبدًا مع المصنوعات البشرية المبتكَرة. إن تلك الأكوام لها الحجم الملائم لتكون أكوامَ فقس بيض الدو، والذي لا يزال محفوظًا بأعدادٍ هائلة. إنه يعطينا فكرةً عن أعداد الدو، وهو يوضِّح لنا الكارثةَ التي أصابت الطير في زمنٍ لم يكن فيه أي تغيرٍ مناخي كبير في بيئته.

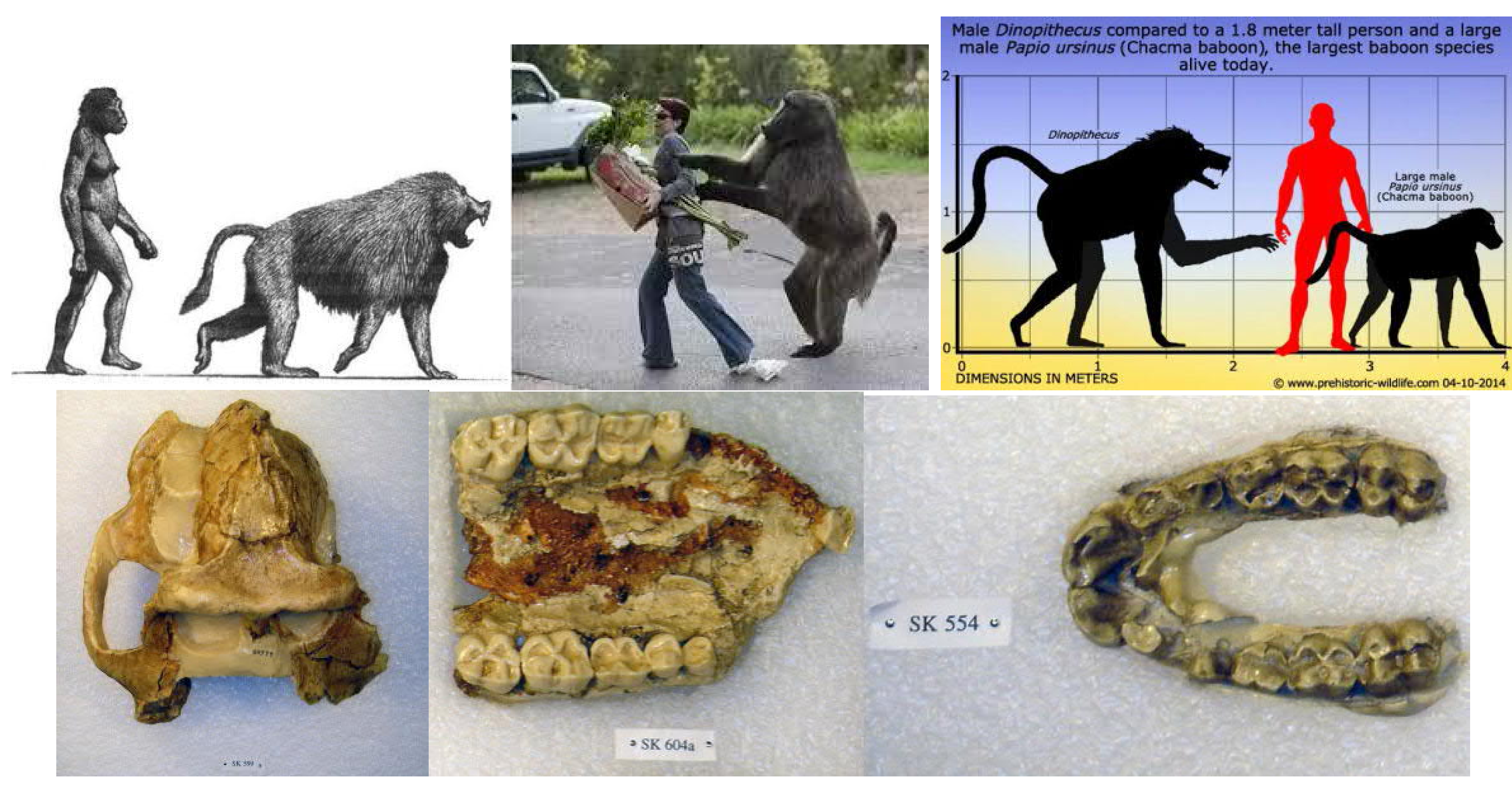


الصورة ٢١- ١٣ Sylviornis، طائر الدو Du المنقرض الخاص بنيو كاليدونيا. كان طوله واقفًا حوالي متر (٣ أقدام) ارتفاعًا.

مجموعات الحياة الحيوانية التي مرت بالمحن

لقد عرفنا من قبل أن الكثير من الأنواع الناجية في أمِركا الشمالية كانت قد اعتادت على ضغط الصيد البشري في أوراسيا. لقد طوَّرَ البشرُ مهاراتِ صيدهم في العالَم القديم، ورغم أنه كانت هناك انقراضات لثدييَّات كبار الأحجام فيه، فإنها كانت متوزِّعةً خلال زمن أطول مما كانت عليه انقراضاتُ العالَم الجديد.

كمثال، في أفريقيا جزَرَ بَشَريُّو Homo erectus/ergaster/antecessor بابوناتٍ ضخامًا، وأفراس نهر ضخامًا، والفيليَّ المنقرض Deinotherium [تعني الحيوان المروّع أو الضخم]. لقد عُثِر على بقايا ٨٠ [أو ٩٠] بابونًا ضخمًا [القرد الضخم أو البابون المروّع Dinopithecus] في موقع واحد [أرض مجزر] في سهول كينيا يؤرَّخُ بحوالي ٤٠٠ ألف سنة ماضية. وفي موقع Torralba and Ambrona في إقليم Soria، Castile and León في إسبانيا عُثِرَ على بقايا ٣٠ فيليًّا و٢٥ حصانًا و١٠ ثيران وحشية برية و٦ خراتيت و٢٥ أيلًا في موقعٍ واحدٍ، في تنقيبات بقيادة F. Clark Howel.



البابون الضخم Dinopithecus، إعادات بناء ومتحجرات



متحجرة بقايا فيلي مستقيم النابين في متحف Museum of Ambrona

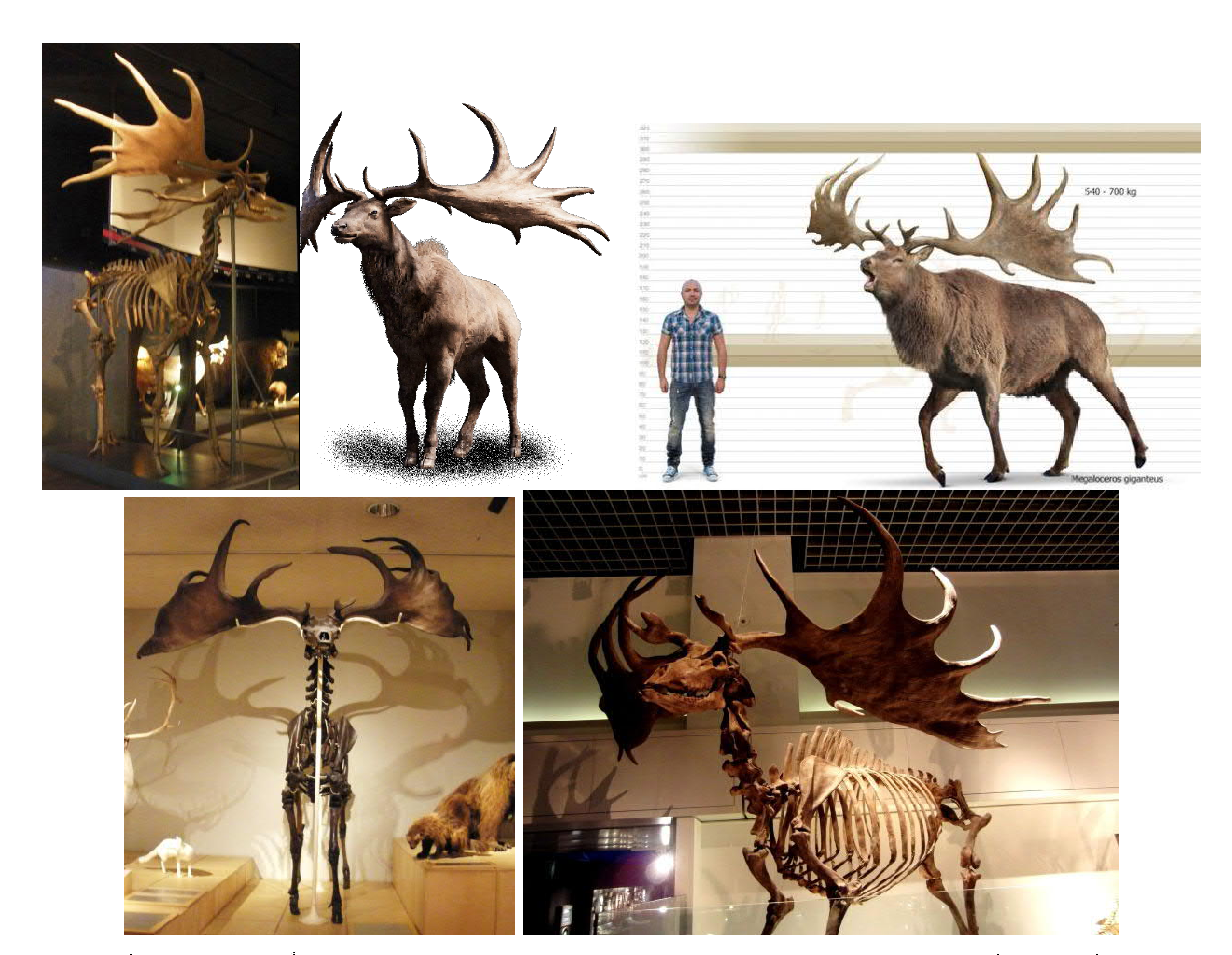
بالتالي فإن حقيقة أن أكثر الانقراضات المحلية أهميةً في العالم القديم حدثت في مواطن كان البشر الحديثون يجتاحونها بقوة لأول مرة تتلاءم مع فرضية الصيد الجائر أو التأثير البشري. حدثت هذه الاجتياحاتُ على طول حواف الصفائح الثلجية، ورغم ذلك فإن البشر جناةٌ في اندثار القليل من أنواع الثدييات الكبار الأحجام الخاصين بتندرة أوراسيا، وخاصةً الماموثات ذوي الفرو والخراتيت ذوي الفرو.

يبدو أن الماموثات انقرضوا عندما سمحت تقنياتُ الصيد المتقدِّمةُ للبشر بالتواجد قرب الصفائح الثلجية. كمثال، يبدو أن تقدم صفائح الثلج قرب أوج آخر عصر جليدي دفع بشر الحضارة الجْرَفِتِيّة Gravettian للخروج من جبال كاربات[1] Carpathian الشمالية الخاصة بأورُبا الوسطى إلى اتجاه الجنوب والشرق، حيث اكتشفوا وغزَوْا لأول مرة السهول العشبية الواسعة التي كانت تقطنها الماموثات في أوكرانيا. كان الجْرَفِتِيّون يستعملون من قبل ذلك بالفعل عظام الماموث كموارد. وفي Predmost في جمهورية التشيك موقعٌ يؤرَّخ تمامًا قبل أبرد فترة من آخر عصر جليدي (٢٨٠٠٠ – ٢٢٠٠٠ عام ماضٍ) يحتوي على عظام ألف ماموثٍ على الأقل. لقد دفن هؤلاء الناسُ موتاهم مع عظام أكتاف الماموث كشواهدِ قبورٍ على نحوٍ روتينيٍّ.

[1] جبال الكاربات سلسة جبال تمتد في أوروبا الوسطى والشرقية بشكل قوس بطول ١،٥٠٠ كم مما يجعلها ثاني أطول سلسلة جبلية في أوروبا بعد سلسلة الجبال الإسكندنافية وموطنا للعديد من الحيوانات المحلية.

كان نمط تلك الانقراضات هو نفسه دائمًا. كانت الثدييات الكبار الأحجام يُصطادُون حتى الإبادة في الجزء المثالي الأفضل من مواطن انتشارهم، ثم يلبَثُ آخرُ الناجين منهم في الأجزاء القاسية المناخ الغير مضيافة (عادةً الشمالية) من منطقة انتشارهم إلى أن يبيدَهم بشرٌ مجتاحون جددٌ أو تقلباتٌ مناخية. كمثالٍ، أعادت الماموثاتُ والخراتيت ذوو الفراء والأيائل الضخام، بالإضافة إلى الأحصنة والإلكة elk وأيائل الرنة غزوَ بريطانيا من طريق أورُبا بعدما بدأت الصفائح الثلجية في التراجع وبدأت غابات أشجار البتولا والأراضي المكشوفة المعشوشبة المحتوية على أشجار في الانتشار في اتجاه الشمال. ازدهرت الماموثاتُ في بريطانيا حتى زمن ١٢٨٠٠ عامٍ ماضٍ على الأقل، لكنْ بعد ذلك ظهرت المصنوعاتُ البشريةُ عند زمن ١٢٠٠٠ عامٍ ماضٍ، وسرعان ما اندثرت أكبر الحيوانات الخاصة بالحياة الحيوانية في التندرة حجمًا.

وكان هناك أيلٌ ضخمٌ Megaloceros [ذو القرون الكبيرة أو العظيمة] يُدعَى أحيانًا بالإلكة elk الأيرْلاندي، وهذا لأنه معروف على نحو شهير أكثر من متحجرات أيرْلاند. إنه لم يكن إلكةً بل أيلًا بحجم الموظ moose، وكان له أكبر قرون متشعبة تطورت على مر الزمان، بامتداد أكثر من ٣ أمتار (١٠ أقدام) (الصورة ٢١- ١٤). لقد كان متكيِّفًا للهجرة الطويلة المسافة والركض في الأراضي العشبية المكشوفة، وكان نظامه الغذائي يقوم على أشجار الصفصاف العالية البروتين على حواف التندرة الشمالية. لقد كان جنسه ينتشرون ذاتَ يومٍ من اليابان إلى فرانس، لكنهم لم يصلوا إلى أمرِكا الشمالية، حيث الموظ نظير إيكولُجِي مقارِب له.



الصورة ٢١- ١٤ الأيل الضخم الأوروآسيوي من عصر البِلَيسْتوسِينْ، Megaloceros [ذو القرون العظيمة]، والذي يُعرَف بالإلكة الأيرْلانديّ. حملَ الذكورُ أكبرَ قرونٍ متشعبة مما تطور على الإطلاق على مر الزمن.

اندثر الأيلُ الضخمُ من أوراسيا في تسلسل [متتالية] بدأت من شرقيّ سيبيرْيا واستمرت باتجاه الغرب. لقد بقي على قيد الحياة لزمن أطول في غربيّ أورُبا، وفي النهاية بعدما ذابت صفائح الثلج وارتفع معدل سطح البحر، اقتصر وجودُه على جزيرة أيرْلانْد. ازدهر الأيلُ الضخمُ هناك في فترة دافئة عند زمن

حوالي ١١٠٠٠ عام ماضٍ، لكنه انقرض بعد ذلك في فترة باردة، ربما لأنه لم يستطِع التراجعَ باتجاهِ الجنوبِ لمناخٍ أفضلَ. لم يصل البشرُ أيرْلانْدْ من أورُبا وبريطانيا حتى صار المناخ دافئًا مجدَّدًا، عند زمن حوالي ٩٠٠٠ عام ماضٍ.

كانت الماموثات _التي كانت قد عاشت إلى الجنوب أكثر_ مقتصِرةً على التندرة شماليَ البحر الأسود عند زمن ٢٠٠٠٠ عام ماضٍ. لدينا سجل حياة مثير للاهتمام عند زمن حوالي ١٥٠٠٠ عام ماضٍ على سهول روسيا وأوكرانيا. لقد بُنِيَ الكثيرُ من مواقع السكنى على الضفاف [الشُرَفِ] المنخفضة النهرية على أيدي ناسٍ من الحضارة الجْرَفِتِيَّة Gravettian. يحتوي كلُّ موقعٍ رئيسيٍّ على بقايا مبانٍ كبيرةٍ عديدةٍ والتي صُنِعَتْ أساساتُها وجدرانُها السفلية بالكامل من عظام الماموثات. كانت المباني كبيرةً، بطول ٤ إلى ٧ أمتار من جانبٍ إلى آخرَ وبمساحة تصل إلى ٢٤ مترًا مربَّعًا. كان الأساسُ مصنوعًا من أثقل العظام، مصفوفةً بعنايةٍ ودقةٍ. كانت الجماجم عند القاعدة يتلوها الفكوكُ ثم العظام الطويلة، مما يؤدي إلى نمطٍ ناتج يزوِّ د بتنظـــيم هندســـي جمالي وكذلك أسلوب بناء سليم. كانت الأسطح على الأرجح من بنيوات خفيفة مصنوعة من الفروع أو الجلود أو الطين. ويشبه ذلك أنه منذ ألف سنة ماضية فقط، كان إنيُوِتْ (إسكيمو) جرينلاند يستعملون جماجم وضلوع الحيتان بنفس الطريقة، مسقِّفين المساكن بالطين.

مجموعة واحدة من أربع مبانٍ كانت مبنيةً باستعمال عظام من ١٤٩ ماموثًا على الأقل. إنه من غير الواضح ما إذا كانت الماموثات قد قُتِلَت أم جُمِعَتْ العظامُ من هياكلَ قديمةٍ. لاحظَ Zoia Abramova أن الحصول على العظام من الماموثات الأحياء كان سيكون أسهلَ من التنقيب عنها من التربة المتصقِّعة (انظر Soffer and Praslov، ١٩٩٣). بينما يعارض ذلك آخرون، مجادِلينَ بأنه ربما اختيرَتْ لأنها كانت قريبةً من تراكماتٍ ضخمةٍ لعظامِ ماموثاتٍ. وحيث أنه لم يجرّبْ أيُّ أحدٍ منخرطٍ في هذه الجدلات إكمال حتى واحدةٍ من تلك المهمات، فلا يُرَجَّحُ أن يكون لدينا اتفاق قريبًا. يقينًا، تعطينا المواقع في هذه المنطقة الفريدة فكرةً عن إما عدد الماموثات الذين جالوا ذات يومٍ في تلك السهول، أو فاعلية صيد أولئك الناس من العصر الحجري، أو كلا الأمرين.

في داخل البيوت، وضع الجْرَفِتِيُّون ترابًا نهريًّا صافيًا كأرضيَّةٍ، وبنَوْا مواقدَ زوَّدَتْها بالوقود عظامُ الماموثات، وظلوا آمنين ودافئين خلال الشتاءات. لقد قاموا بلمسات نهائية على الأدوات الحجرية، وتركوا خلفهم مطارق مصنوعة من قرون الأيائل ورقائق منحوتة، وسلخوا جلود الحيوانات مخلِّفين لنا العظامَ، واستعملوا المغرة الترابية (أكسيد الحديد وأي أكاسيد معدنية أخرى) للصباغة، وخاطوا الثيابَ بإبَرٍ مصنوعةٍ من العاج.

كانت المساكن المؤسسة بعظام الماموثات محاطة بحفر محفورة في التربة المتصقعة والتي كانت تُسْتَعْمَل على الأرجح لتخزين اللحم لفترةٍ طويلة. لقد قام Lewis Binford بمقارنةٍ مُحكَمةٍ ومليئةٍ بالحياة بين إنيُوِتْ [إسكيمو] القطب الشمالي الشمالي الأمِركي الصائدين للحيتان وأيائل الرَنَة caribou المعاصرين، وقاطني التندرة الخاصة بالسهول المعشوشبة المحتوية على أشجار التي عاشت فيها الماموثات (انظر Soffer and Praslov، ١٩٩٣). إن الكثير من سمات أبنيتهم وحفر تخزين طعامهم متشابهة على نحو وثيق، مما يدل على أن الجْرَفِتِيِّين القدماءَ كانوا صيَّادين أكفَّاء حتى لو كانوا استعملوا وأعادوا استعمال العظام القديمة.

لم تتردد الأجيال الأقدم الخاصة بالإنيُوِتْ (الإسكيمو) في مهاجمة الحيتان المقوَّسي الرؤوس ذوي الخمسة والعشرين طنًّا من قوارب ضعيفة، ولو أن أحفادهم المعاصرين يفضِّلونَ القوارب ذوات المحرِّكات والهجوم بالبنادق. ربما هاجم أو لم يهاجم مباشرةً صيَّادو العصرِ الجليديِّ الماموثاتِ ذوي الثمانية أطنانٍ، لكنْ لا يحتاجُ الأمرُ قدرًا كبيرًا من التخيُّلِ لمعرفة سبب عدم إمكان تواجد البشر والماموثات لفترة طويلة في السهول المكشوفة المعشوشبة ذوات الأشجار والتي قد كانت مكان الانتشار الرئيسي لنوع الماموث. وقد بنى نفس بشر الحضارة الجْرَفِتِيَّة مساكن مؤسسة بعظام الماموثات في أورُبا الوسطى منذ عدة آلافٍ من السنوات قبل ذلك، عندما كانت الماموثات لا تزال تعيش هناك.

لقد نجى بعض الماموثات في المناطق المتصقِّعة التربة الخاصة بشماليِّ سَيْبِيرْيا حتى زمن حواليْ ١٠٠٠٠ سنة ماضية، في منطقة وصلها البشرُ لاحقًا. رغم ذلك، كان لا يزال هناك ملجأ أخير للماموثات، في جزر رانجل[1] Wrangel، وهي مجموعة صغيرة من الجزر الخفيضة الأرض قربَ ساحل سَيْبِيرْيا

---

[1] جزيرة رانجل باللغة الروسية (о́стров Вра́нгеля) جزيرة تقع في المحيط القطبي بين بحر تشوكشي و بحر سيبيريا الشرقي .وتقع الجزيرة على خط الطول ١٨٠°.لكن خط التوقيت الدولي يُزاح باتجاه الشرق حتى يطابق التوقيت على الجزيرة التوقيت على شبه جزيرة تشوكشي في البر الرئيسي .أقرب نقطة للجزيرة هي جزيرة هيرالد الصخرية الصغيرة والتي تقع على بعد ٦٠ كلم بإتجاه الشرق .[١] المسافة إلى أقرب نقطة في البر الروسي للجزيرة تقع على بعد ١٤٠ كلم .[٢] وكانت جزيرة رانجل أخر مكان تعيش عليه حيوانات الماموث على الأرض.

الشمالي. كان المرعى هزيلًا، وكان أواخر الماموثات صغار الأحجام، حوالي طنين بدلًا من ٦ أطنانٍ كوزن أسلافهم. انقرض آخر الماموثت في جُزُرِ رانجل منذ ٣٠٠٠- ٤٠٠٠ سنة ماضية فقط، في زمنٍ كانت هناك فيه مدنٌ كبيرة في الحضارات القديمة الخاصة بأوراسيا وكانت الأهرامات المصرية قد صارت قديمةً بالفعل. لسنا متأكدين مما أباد أولئك الناجين الأواخر من الماموثات العظماء المثيرين للرثاء، لكن البشر وصلوا إلى جزر رانجل في نفس الزمن تقريبًا.

هناك أسطورة أن البشر البدائيين عاشوا في انسجامٍ أو تناغمٍ إيكولُجِيّ مع النباتات والحيوانات من حولهم، وأن انعدامات التوازن الإيكولُجِيّ الكبيرة نشأت فقط مع وصول الحضارات الحديث. لقد رأينا أمثلة عديدة تنسف هذه الأسطورة، وهناك أمثلة كثيرة أكثر بعدُ.

لقد دمرت الشعوب القديمة حضاراتِها الخاصةَ بها على الجُزُرِ وكذلك الأنظمة الإيكولُجِيَّة الضعيفة. إن ساكني جزيرة إيستر Easter [تعني الفصح] الذين بنَوْا تماثيلهم الحجرية الضخمة الشهيرة على الجزيرة أزالوا أيضًا الغابات من أرضهم التي كانت خصبة منتِجةً حتى صارت بورًا قاحلةً وصاروا مجموعةً بائسةً من المشرَّدين يبقُوْنَ على قيد الحياة من خلال التقمُّم على الساحل والصيد البدائي للسمك. لكن الشعوب الأكثر تقدمًا على القارات الكبيرة قد أضروا بأنفسهم أيضًا. إن الهنود الحمر [الأمِركِيِيِّين الأصليِّينَ] من قبيلة الأَنَاسازي Anasazi _والذين شيَّدوُا حضارةً معقَّدةً على نجْدِ كُلُورادُو_ جرَّدُوا بيئتَهم من الأشجار حتى قوَّضَتْ التجويةُ و والتَغَرْيُن[1] مشاريعَ الريِّ الخاصةَ بهم، ثم لم يعودوا شعبًا مهمًّا. يدعو Tim Flannery هذه الأنواع من المجتمعات المدمِّرة لأنفسها بملتهِمي أو محطِّمي المستقبل. لكنْ هل نقوم نحنُ بالأمور على نحوٍ أفضلَ بأيِّ درجةٍ؟

العالَم في العصر الحالي

جلبَ الإسبانيُّون المستعمِرون الماشية إلى الأرجنتين في عام ١٥٥٦م؛ وعند زمن حوالي ١٧٠٠م كان هناك حوالي ٤٨ مليون رأس ماشية وحشية [بريَّة] على السهول. وبحلول ١٧٥٠م كانوا كلهم قد أبيدُوا على يد مجموعة سكانية بشرية متناثرة نسبيًّا مسلَّحة بأسلحة ناريَّة بدائيَّة. هذا أكثر إثارةً للذهول من المذبحة الشماليّ أمِركِيَّةِ لحوالَيْ ٦٠ مليون ثور بيسون بعد قرنٍ لاحقٍ ببنادقَ أكثرَ فاعليةً، وهو دليل إضافي لصالح معقولية فرضية الصيد الجائر.

إزالة الغابات الاستوائية من جوانب التلال لا يزيل فحسب النباتاتِ والحيواناتِ التي تكون متكيِّفة على أفضل نحوٍ للحياة هناك، بل وتؤدّي كذلك إلى التجوِيَة التي تزيل المواد المغذِّيَة القليلة المتبقِّية في التربة، مما يُدَمِّرُ أيَّ قيمةٍ زراعيةٍ للأرض. وتؤدِّي أيضًا إلى ماء أمطار جارٍ على الأرض أكثرَ بكثيرٍ وفيضٍ في اتجاه مجاري الأنهار، مما يدمِّر الأنهار وقنوات الري والحقول في اتجاه مجرى النهر أو يغمرهن بالغرين، مما يضرُّ بالأنظمة الإيكولُجِيَّةِ وبالإنتاجيَّةِ هناك أيضًا. لقد أُكْمِلَ هذا السيناريو في العصر الحالي في إثيوبيا ومدغشقر وهايتي بدرجات مروِّعة، وهو يحدُثُ في كل الغابات المطيرة الخاصة بالبرازيل وإندونيسيا، وهو يُدمِّرُ خزانات الماء الأرضي التي تورِد الماءَ لقناة بَنَمَا، ومع ذلك لا يبدو أننا قد تعلَّمْنا الدرسَ.

يمكن أن يجادِل المرءُ بأن البشر في زمن ١١٠٠٠ عام ماضٍ _وربما حتى في زمن ٥٠٠ عام ماضٍ_ لم يعرفوا علم الإيكولُجِي على نحوٍ كافٍ، ولم يكن لديهم تسجيلٌ كافٍ للتاريخ، ولم يعرفوا علم آثارٍ أو علم متحجراتٍ كافٍ، ولم يكن لديهم منظورٌ عالَميٌّ على نحوٍ كافٍ ليُدْرِكوا عواقبَ تأثيرهم على الأنظمة الإيكولُجِيَّة. لكنْ هذا غير منطبقٍ على العصر الحاليّ. لدينا التنظير والبيانات لمعرفة ما نفعله بالضبط. إننا ننقل أنوعًا إلى قارات وجزر جديدة عليها بدون تحليل [أو دراسة] إيكولُجِيَّة مناسبة لتأثيرهم المحتمَل. إننا نتعامل مع بيئتنا بغباءٍ أحيانًا، وبطمعٍ أحيانًا، لكنْ غالبًا [نتعامل معها] بكلا الشئيين.

إننا نعلم جيدًا جدًّا أن المناطق الاستوائية الخاصة بالعالَم مواطن كنوزٍ من الأنواع الحية، والكثير منها ذو قيمة لنا والكثير منا لم يوصَفْ بعدُ. ورغم ذلك فإننا نجلب أسماكًا مفترسةً غريبةً إلى البحيرات الاستوائية، مدمِّرين المَسامِكَ [مواقع صيد الأسماك] التي كانت مستقرةً لقرونٍ.

---

[1] التغريُّن Siltation: تجمع رواسب الغرين. والغِرْيَن Silt: راسب فتاتي يتكون من حبيبات من مواد أرضية يلتصق بعضها ببعض إذا ابتلت بالماء، على خلاف الرمل، وهي في العادة أصغر من حبيبات الرمل وأكبر من حبيبات الطين.

إننا نعلم أن إزالةَ الغابات الاستوائي سيدمِّرُ سريعًا المستوى المنخفضَ من المواد المغذِّية في التربة وسيجعل تلك المناطقَ غيرَ صالحةٍ لزراعة النباتات. إلا أننا نمضي في ذلك على أي حالٍ، أحيانًا لأجْلِ الربح السريع من أشجار الأخشاب الغير قابلة لتعويضها، وأحيانًا لتحقيق القليل من سنوات الحصاد الزراعي قبل أنْ تُسْتَنْزَفَ الأرضُ.

إننا [بعضنا] نصطاد الجوريلَّات بالمخالفة لقوانين منع الصيد ونصطاد الحيوانات بالأسلحة الناريَّة كتذكارات. يزيل الإندونيسيُّون والماليزيُّون الغاباتِ الاستوائية لتوفير الخشب لأجل الإحدى عشر مليار عود أكل يُطرَح بعد الاستعمال والتي يستعملها اليابانيُّون سنويًّا. يُهْلِكُ الأفريقيُّون الخراتيتَ لإمداد الآسيويِّين بأدويةٍ عديمةِ الفائدة واليمنيين بمقابض خناجر؛ ويصطاد بعض الأفريقيين الأفيالَ بالمخالفة لقانون حظر صيدها لأجْلِ العاجِ والذي يؤوُلُ إلى حُليٍّ وتوافهَ في اليابان وأورُبا وأمِركا الشماليَّة.

مواطن الصيد تُدَمَّر على مستوى العالم. يستعمل صيادو الأسماك التنزانيُّون والفلبينيون أصابع الديناميت، مهلكين بذلك الشعاب المرجانية التي تعتمد عليها الأسماك وعلى أي أمل في حصولها على أي غذاء في العام التالي. يصطاد الفلبينيون الأسماك الاستوائية لأجلْ أحواض عرض الأسماك الأمِركيَّة والمطاعم الصينية ولمحلات "الأدوية" الزائفة الدجلية بوضع السيانيد في شعابهم المرجانية وصيد الناجيات القلائل. يصطاد اليابانيون والنرويجيون والآيسلانديون الحيتان بذريعة "البحث العلمي" رغم أنهم يبيعون اللحمَ. فرغم كل الادعاءات السالفة الذكر هم كانوا مستعدِّين للدفع مقابل السفن ويريدون استعادة أموالهم مع الأرباح. يُصطادُ البطلينوسُ الضخم بالمخالفة لقانون الصيد من المحميَّات البحريَّة في كل أنحاء المحيط الهادئ الجنوبي لإشباع جشع "خبراء الأكل أو الذوَّاقة" الصينيين.

يتذمَّر مواطنو أمِركا الشمالية من تدمير الغابات الاستوائية المطيرة لأجل التصدير إلى اليابان، بينما شركات الأثاث والألواح الخشبية الخاصة بدولتهم تقطع آخر غابة أشجار خشب تنوبٍ في أولد دوجلاس Old Douglas وغابات أشجار الخشب الأحمر الخاصة بشمالي غرب أمِركا الشمالية لتصديرها إلى اليابان. يصطاد الإيطاليون والفرنسيون ملايين العصافير المغردة الضئيل كل سنة على سبيل "رياضة الصيد". تستمرُّ كل الأمم الصناعية في تدميرِ الغابات والجداولِ بالأمطار الحامضية، رغم أننا نعرف كيفية منع التلوث الذي يسبِّبها. الجهل ليس المشكلةَ في أيٍّ من تلك الحالات، بل الجشع والغطرسة هما الملومان.

نستطيع أن نعيش بشكل جيد على نحوٍ مثالي. في الحقيقة، نستطيع أن يكون لدينا جودةُ حياةٍ مزدادة على نحوٍ كبير، بدون عرقلة توازن إيكولُجِيَّة قرود القِشة marmosets الأمِركِيَّة والجوريلَّات وإنسان الغاب والشيمبانزيات والحيتان وكل الأنواع المهدَّدة بالانقراض الأخرى إن سيطرنا على طبيعتنا البيولُجِيَّة. ما نحتاجه هو إحساسٌ بالمسؤوليَّة الجمعيِّ واهتمامٌ مستنيرٌ بمصالحنا الشخصية. إنه أمرٌ يصعُب توصيلُه للناس لأن التطور والمجتمع والمبادئ البسيطة للاقتصاد كلها تؤيِّد الأهداف القصيرة المدى الزمني للأفراد بدلًا من الرخاء البعيد المدى للمجتمعات والجماهير.

من مصلحة كل أحدٍ _سواءً لأنفسهم أو لأولادهم_ أن يجعلوا مستقبلَنا آمنًا ليس فقط للبقاء على قيد الحياة، بل مع جودة الحياة أيضًا. إن لم نحل مشاكلَنا عن طريق أفعالنا الطوعية، فسوف يقوم الانتخاب الطبيعي بهذا نيابةً عنا. إن كنا نستطيع تعلُّمَ أيَّ شيءٍ من سجل المتحجرات، فهو أنَّ الانقراضَ مصيرُ كل نوعٍ تقريبًا عاش على الإطلاق على هذا الكوكب. لا توجد ضمانة تلقائية للنجاح. كلُ فردٍ في كل جيلٍ يُخْتَبَرُ في مواجهةِ البيئة. لدينا القدرة والمعرفة للتحكم في بيئتنا بمقدارٍ لم يكن لدى أي نوعٍ آخَرَ من قبلُ قَط. حتى الآن، استعملنا ولا نزال نستعمل تلك القدرات في القضاء على الآلاف من الأنواع الأخرى من على الكوكب. إن دمَّرْنا بيئتَنا إلى الحد الذي يفشل فيه نوع البشر في المرور باختباره، فسوف نواجه إما بالانقراض أو أن نصير شيئًا أقلَّ من البشر، وهو ما سنكون مستحقِّين له.

لكن المأساةَ الأكبر ستكون ميراثَنا، لأننا سندمِّر الكثير من أشكال الحياة في العالم بالإضافة إلى أنفسنا. أعتقد أنَّ أيَّ إلهٍ عاقلٍ كان سيتدخَّلُ منذ زمن طويلٍ لمنع الهلاك الجماعي بالجملة للكثير للغاية من مخلوقاته. ليس لدينا سوى أنفسنا وبعضنا البعض للَّوْمِ وللاعتماد.

كتب ذات مرةٍ الأنثروبولُجيُّ [عالم الأجناس البشرية] David Pilbeam أننا قد بدأنا للتو فقط في استغلال وافتتاح إمكانياتِ العقل البشري. يُسْتَحْسَنُ أنْ يكونَ مُحِقًّا.

٠٠٩٦٤٧٧١١٠٠٢٧٩٠